De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Deel 2

De ontwikkeling van chemie en chemische technologie in de eerste helft van de twintigste eeuw

H.A.M. Snelders

bron
H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Deel 2: De ontwikkeling van chemie en chemische technologie in de eerste helft van de twintigste eeuw*. Delftse Universitaire Pers, Delft 1997

Zie voor verantwoording: http://www.dbnl.org/tekst/snel016gesc02_01/colofon.htm

dbnl



Meisenbach Riffarth & Co. Berlin

Johannes Henricus van 't Hoff (1852-1911), aan wie in 1901 als eerste de Nobelprijs voor scheikunde werd toegekend voor zijn werk over de ostomische druk in oplossingen en over chemische dynamica.

Ten geleide

In 1988 besloot het Bestuur van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (KNCV) de geschiedenis van de scheikunde in Nederland te laten beschrijven. Want hoewel er al een aantal eeuwen scheikunde werd bedreven in ons land, bestond zo'n geschiedschrijving nog niet.

Besloten werd deel I - de geschiedenis tot het begin van deze eeuw - ter gelegenheid van het 90-jarig bestaan van onze vereniging in 1993 te laten verschijnen. Het tweede deel dat de twintigste eeuw zou beschrijven zou dan volgen ter gelegenheid van het honderdjarig bestaan van de KNCV in 2003.

Het Bestuur van KNCV was zeer verheugd dat prof. Snelders - een autoriteit op het gebied van de geschiedenis van de natuurwetenschappen - bereid was deel I te schrijven. Dit eerste deel is uitstekend ontvangen en de KNCV was dan ook blij dat prof. Snelders opnieuw bereid was als auteur op te treden.

De ontwikkelingen in deze eeuw zijn echter zo talrijk en veelzijdig geweest dat een tweedeling noodzakelijk was. Het deel dat nu voor u ligt beschrijft de eerste helft van deze eeuw en wordt uitgebracht ter gelegenheid van het negentiende lustrum van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging. Het laatste deel dat de periode 1950-2000 zal behandelen zal dan in 2003 bij het honderdjarig bestaan van onze vereniging verschijnen.

Den Haag, september 1997
Dr. J. Nieuwenhuis,
voorzitter Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging

Voorwoord

Op 15 september 1913 sprak de Amsterdamse hoogleraar in de geneeskunde Hector Treub (1856-1920) bij de overdracht van het rectoraat over de vervelende taak alle promoties te moeten bijwonen. Van de daarbij gevoerde oppositie kon hij in veel gevallen nauwelijks iets volgen. Wanneer ze in het Latijn werden gevoerd kwam hij niet veel verder dan na te gaan wat er was blijven hangen van het Latijnse onderricht dat hij veertig jaar daarvoor had genoten. In dat verband sprak hij ook over promoties in de scheikunde. 'Nog erger is het trouwens, voor den leek in het vak, promoties in de scheikunde bij te wonen. Deze geschieden in het Nederlandsch. Men zou dus verwachten, dat zij verstaanbaar waren. Maar met de hand op het hart kan ik verklaren, dat ik van de promoties in de scheikunde nog minder heb begrepen dan van die in de klassieke letteren. Ik heb mij daarover geschaamd, want ik meende dat het een schande was, dat ik, die eerst op de hoogere burgerschool en later aan de universiteit scheikunde heb geleerd, dat alles zoo finaal had vergeten. Toch waag ik het dit nu openlijk te bekennen, want op den eersten dag der nu afgeloopen zomervacantie heeft de voorzitter der Nederlandsche chemische vereeniging, aan wien ik mijn nood klaagde, mij getroost met de mededeeling, dat wanneer twee chemici, die een verschillend deel van het vak beoefenen, samen spreken zij elkanders taal dikwijls niet begrijpen!'.[1] Die voorzitter was de Utrechtse hoogleraar Ernst Cohen, die vier jaar later, op 9 mei 1917, in een voordracht voor de 'Amsterdamsche Studentenvereeniging voor Sociale Lezingen' een pleidooi hield voor kennis van de natuurwetenschappen voor iedereen. Men raakt er volgens hem steeds meer van overtuigd 'dat kennis van de grondbeginselen der exacte wetenschap voor een ieder moet worden geëischt, die aanspraak wil maken op den naam ontwikkeld man, voor een ieder, die den Staat wil dienen, even goed als talrijke takken der humaniora (men denke slechts aan de geschiedenis, aan de levende talen) voor geen enkel man der wetenschap kunnen worden gemist'.[2] Het is in dezelfde tijd dat Gerrit Doyer van Cleeff (1851-1929) na zijn pensionering als leraar scheikunde in Zaandam en Amsterdam zijn boek *Scheikunde in dienst van den mensch* schreef. Aanleiding was de in 1917 en 1918 gehouden Eerste en Tweede Nederlandse Jaarbeurs in Utrecht die zo sterk getuigden van de grote betekenis van de scheikundige industrie in die tijd, ook voor ons land. Doyer van Cleeff wilde, net als de Schotse chemicus Alexander Finlay kort daarvoor in zijn *Chemistry in the Service of Man* (1916) had gedaan, een schets geven van die betekenis en de nadruk leggen op onze eigen situatie. 'Zulk een schets zou m.i. nut kunnen doen. Van ouderen van dagen vernam ik de verbazing, "dat scheikunde een vak was dat voor het praktisch leven belang had", van iemand, die scheikunde heeft kunnen leeren, hoorde ik bij de monsterkamer van de Glasfabriek "Leerdam" de

vraag, “of ook dit bedrijf de belangstelling van den scheikundige trok?”’.[3]

Over de popularisering van de scheikunde in de vorige eeuw heeft recent Ernst Homburg een interessante studie gepubliceerd. ‘Waar popularisering van de chemie thans grotendeels in dienst staat van de belangen van de chemische wetenschap en industrie, maakte dit aan het begin van de negentiende eeuw nog deel uit van een veel breder streven gericht op maatschappelijke vooruitgang en de verbreiding van een christelijke beschaving’.[4] Maar popularisering van de scheikunde is niet het onderwerp van het onderhavige boek. Dit tweede deel van *De Geschiedenis van de Scheikunde in Nederland* sluit aan bij het in 1993 verschenen eerste deel, dat als ondertitel had: ‘Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900’. Dit boek gaat over Nederlandse bijdragen tot de scheikunde in de eerste helft van de twintigste eeuw en over scheikundigen en scheikundig technologen die aan die ontwikkeling hebben bijgedragen.

De schrijver dankt een aantal chemici, die zelf in de afgelopen decennia belangrijk bijgedragen hebben tot die ontwikkeling, voor hun kritische opmerkingen en aanvullingen op door hen gelezen hoofdstukken van het manuscript. Het zijn in alfabetische volgorde prof. dr. Th.J. de Boer, prof. dr. G.J.M. van der Kerk, prof. dr. D.W. van Krevelen, prof. dr. J.Th.G. Overbeek en prof. dr. H. Veldstra. Dankbaar is ook gebruik gemaakt van de ‘24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt’, die door dr. J.W. van Spronsen - die zo vriendelijk is geweest het gehele manuscript kritisch door te lezen - in het boek *Werken aan scheikunde* (1993) zijn samengebracht.

Bilthoven, juni 1997
H.A.M. Snelders

Eindnoten:

1 H. Treub, *Jaarboek der Universiteit van Amsterdam (1912-1913)* (Amsterdam, 1914), p. 9
2 E. Cohen, ‘Quo vadimus?’, *Chemisch Weekblad* 14(1917)438-456 (447)
3 G. Doyer van Cleeff, *Scheikunde in dienst van den mensch* (Haarlem, 1918), p. IV
4 E. Homburg, ‘Van volksscheikunde tot technologie: Popularisering van de chemie in de negentiende eeuw’, *Gewina. Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 18(1995)72-101 (11)

I. De scheikunde in het begin van de twintigste eeuw

Tegen het eind van de negentiende eeuw waren veel fysici en chemici van mening dat voornaamste ontdekkingen op hun vakgebied reeds waren gedaan. De Newtoniaanse fysica verschafte de natuurkundige een bevredigend wereldbeeld, terwijl de scheikundige de laatste resten van de alchemie had overwonnen door zijn 'geloof' in ondeelbare atomen en onveranderlijke elementen. Zijn tijd kon hij nu besteden aan de bereiding van nieuwe verbindingen en de bestudering van de eigenschappen en de reacties ervan. Er bleven natuurlijk nog een aantal problemen op te lossen. De fysicus wilde een beter begrip hebben van de aard van de elektriciteit en hij kon nog geen algemene verklaring geven van de toenemende ontdekkingen op het gebied van de atoomspectra. De chemicus begreep nog steeds de oorzaak van de valentie niet, noch van de periodiciteit in het periodiek systeem van de chemische elementen van de Rus Dimitri Ivanovitch Mendelejeff. Het was bij het oplossen van deze problemen dat in het begin van de twintigste eeuw de fysica en chemie een grondige wijziging ondergingen.

In 1900 kon de Duitse chemicus Albert Ladenburg met recht zeggen: 'Ueberblickt man die Entwickelung der Chemie in den letzten 15 bis 20 Jahren, so ist sie charakterisiert durch das immer stärkere Hervortreten der physikalischen, oder, wie manche sagen, allgemeinen Chemie, die sich aus kleinen Anfängen zu einer Wissenschaft ersten Ranges ausgebildet hat'.[1] Aan deze ontwikkeling hadden vooral August Friedrich Horstmann, Josiah Willard Gibbs, Johannes Diderik van der Waals en in het bijzonder Jacobus Henricus van 't Hoff bijgedragen. Ze werd door Wilhelm Ostwald in zijn grote *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*(1885-1887; tweede druk vanaf 1890) samengevat. De twintigste-eeuwse scheikunde heeft aan Van 't Hoff meer te danken dan aan iemand anders. Zijn ideeën vonden niet alleen ingang bij chemici en technologen, maar ook bij biologen en fysiologen. Zijn naam blijft verbonden aan de wetten van de verdunde oplossing, de ontwikkeling in kwantitatieve zin van de leer van het chemisch evenwicht en de affiniteit, de invloed van druk en temperatuur op de ligging van het chemisch evenwicht en de ontwikkeling van de theorie van de naar de vier hoekpunten van een tetraëder gerichte valenties van het koolstofatoom.

Willen we echter een inzicht krijgen in de groei van de scheikunde in de twintigste eeuw, dan moeten we eerst iets zeggen over de toen nieuwe ontdekkingen in de natuurkunde.

Radioactiviteit en atoombouw

Van groot belang voor het inzicht in de atomaire en moleculaire structuren van de stof waren de tegen het eind van de vorige eeuw door natuurkundigen ontdekte röntgen- en radioactieve straling en het bestaan van elektronen. Het uit het begin van de negentiende eeuw stammende Daltonse atoom was steeds minder adequaat geworden om de chemische en fysische verschijnselen bevredigend te verklaren. De oplossing gaf de natuurkunde met de studie van de interpretatie van spectraallijnen, het gedrag van gassen in ontladingsbuizen en de radioactieve verschijnselen. Steeds duidelijker werd het dat atomen niet te beschouwen waren als 'blijvend' ondeelbare deeltjes. Spoedig nadat de Engelse natuurkundige Joseph John Thomson het bestaan van het elektron had aangetoond (1897) en de veronderstelling had uitgesproken dat atomen een aantal van deze negatief geladen deeltjes zouden bevatten, deed men verschillende pogingen om een model van het atoom te geven. In al deze modellen moesten stabiele configuraties voorkomen van de elektronen, terwijl ze tevens een verklaring moesten geven van de discrete atoomspectra. Alleen Thomson gebruikte ook een chemisch criterium: Het atoommodel moest ook de chemische eigenschappen van de elementen kunnen verklaren. In 1904 gaf hij zijn wiskundig uitgewerkt model: In het atoom bevinden zich bepaalde configuraties en patronen van elektronen verdeeld binnen een bol met een positieve lading welke gelijk is aan de som van de negatieve ladingen van de elektronen. Bij Thomson had de bol met positieve lading de afmeting van het atoom zelf. Uit verstrooiingsproeven van α-deeltjes aan metaalfolie door Hans Wilhelm Geiger en Ernest Marsden op het laboratorium van Ernest Rutherford in Manschester concludeerde Rutherford in 1911 dat het atoom uit een sterk positief geladen kern van zeer kleine afmetingen en grote massa bestaat, waaromheen de elektronen bewegen als een soort planetensysteem. In 1913 werkte hij dit uit met zijn theorie van de elektronenschillen. Tegen dit model kwamen al direct bezwaren. Als de elektrostatische aantrekking tussen de kern in een atoom juist in evenwicht is met de centrifugale kracht van het elektron om de kern, dan moest volgens de elektromagnetische theorie van James Clerk Maxwell zo'n elektron straling uitzenden. Deze energie kan allen uit energie van het systeem komen zodat het elektron de kern in een spiraal gaat naderen onder uitzending van straling met een constant toenemende frequentie. Dit is in strijd met de scherpe spectraallijnen die we waarnemen. Niels Bohr loste dit probleem in 1913 op met zijn model waarin de elektronen in bepaalde schillen om de kern bewegen. Voor het dynamisch evenwicht van systemen in stabiele toestanden geldt de klassieke Newtonse dynamica en de wet van Coulomb; voor de overgang tussen systemen met verschillende stabiele toestanden gebruikte hij de kwantumhypothese van Max Planck (1900).

Een paar maanden na de verschijning van Bohrs eerste artikel, publiceerde een van Rutherfords medewerkers, Henry Gwyn Jeffreys Moseley, zijn klassieke onderzoek over de emissie van röntgenstralen door elementen die gebombardeerd worden met kathodestralen. Hij vond dat de golflengten van de röntgenstralen regelmatig afnemen met toenemend atoomnummer van het element. Blijkbaar is er in het atoom een fundamentele grootheid, die regelmatig toeneemt van het ene element naar het andere in het periodiek systeem. Deze grootheid is de lading van de atoomkern. Nu was het mogelijk het probleem van het totaal aantal elementen en het aantal zeldzame

aardmetalen op te lossen, alsmede een verklaring te geven van het merkwaardige feit dat kobalt vóór nikkel, kalium vóór argon en tellurium vóór jodium moet staan en dit ondanks de waarden van hun atoomgewichten. Moseley voorspelde een nog onbekend zeldzaam aardmetaal tussen neodymium (60) en samarium (62), het in 1945 geïsoleerde promethium. Andere open plaatsen werden sneller opgevuld: hafnium in zirkoniumertsen door onze landgenoot Dirk Coster en de Hongaar György Hevesy in Kopenhagen in december 1922 en rhenium in het mineraal columbiet door de Duitse chemicus Walter Noddack, zijn latere echtgenote Ida Tacke en Otto Berg in mei 1925.

In het begin van de twintigste eeuw kende de chemicus vrijwel alle in de natuur voorkomende elementen en honderdduizenden verbindingen die er uit zijn te vormen, maar vrijwel niets over de werkelijke atomaire en moleculaire structuren. Een nieuw tak van de scheikunde, de fysische scheikunde, had weliswaar geprobeerd de affiniteit en het chemisch reactieverloop terug te brengen tot een thermodynamisch probleem, maar dit hield in dat men afzag van de vraag naar het mechanisme van de chemische verbindingen en de aard van de krachten die ze veroorzaken. De verandering in het fysisch wereldbeeld in de eerste twee decennia van de twintigste eeuw, met name de ontdekkingen van fysici over de structuur van de materie, leidde tot nieuwe inzichten. Het grootste probleem was nog steeds de aard van de chemische binding. In het begin van de negentiende eeuw had de Zweedse scheikundige Jöns Jacob Berzelius zijn elektrochemische bindingstheorie gepubliceerd. Hij nam voor alle elektrisch te ontleden stoffen aan dat ze uit twee tegengesteld geladen deeltjes bestaan die door elektrostatische aantrekking bijeen worden gehouden. De positieve of negatieve lading van een deeltje berust niet zonder meer op het verschillend elektrisch gedrag ervan, maar op het overwegen van de ene of de andere soort van lading. Ieder deeltje heeft een elektrische polariteit. Deze dualistische beschouwingswijze werd niet alleen voor atoomcomplexen, maar ook voor de afzonderlijke atomen toegepast. Maar de elektrochemisch-dualistische theorie van Berzelius had hetzelfde gebrek als veel natuurwetenschappelijke theorieën: Ze impliceerde een onjuiste generalisering en raakte in conflict met nieuwe kennis in de organische chemie. Met name de natuur van organische verbindingen was er niet mee te verklaren. Nieuwe verklaringsmogelijkheden bood pas de ontdekking van het elektron.

In 1916 verschenen er vrijwel gelijkertijd twee belangrijke artikelen over de chemische binding: in maart van Walther Kossel, toen assistent aan het natuurkundig instituut van de Technische Hochschule in München, en een maand later, in april, van de Amerikaanse fysisch-chemicus Gilbert Newton Lewis. Kossel was 'modern' door het gebruik van concentrische elektronenringen, maar beperkte zich vooral tot anorganische stoffen met elektrovalente bindingen. Lewis werkte met een statisch atoom-model; de elektronen in het atoom zijn gerangschikt in concentrische schillen. Hij ging daarbij uit van de praktische 'regel van acht' van de hoogleraar voor algemene chemie aan de Technische Hochschule in Breslau, Richard Abegg (1904): de som van de positieve en negatieve valenties van een element is acht. Lewis wist echter niet hoeveel elektronen er in een atoom zitten. Daarom nam hij een kubisch model aan: de elektronen bevinden zich op de hoekpunten van een kubus. Met zijn kubisch statisch model behandelde Lewis ook covalente bindingen. Hij gaf het principe van

de elektronenpaarbinding, dat overigens al in 1902 door Thomson was gebruikt (namelijk het gedeeltelijk overlappen van de bollen met positieve lading).

De nieuwe theorie van de chemische binding werd snel overgenomen, vooral na de uitwerking door de Amerikaanse chemicus Irving Langmuir in 1919. De octettheorie was de eerste succesvolle poging om de vraag te beantwoorden waarom chemische verbindingen mogelijk zijn. Het nadeel was de te grote eenvoud. De ionbinding geldt alleen voor de alkalihalogeniden (en exact alleen voor cesiumfluoride). Energiebalansmetingen laten zien dat in de meeste gevallen er een overgangstoestand is tussen de elektrovalente en de covalente binding. In ons land heeft vooral het boek van Anton Eduard van Arkel en Jan Hendrik de Boer, *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel* (1930) gunstig gewerkt op de ontvangst van de theorie van Lewis-Kossel-Langmuir. De problemen werden later opgelost: Dat in zuurstofatomen elektronenparen voorkomen die afkomstig zijn van één en hetzelfde atoom, verklaarde de Oxfordse chemicus Nevil Vincent Sidgwick in 1927 met zijn theorie van de coördinatieve binding. Een ander probleem was de polaire binding. Lewis kon een zekere graad van polarisatie niet ontkennen (1916) en verklaarde er in 1923 mee dat trichloorazijnzuur een sterker zuur is dan azijnzuur. Het inductief effect werd door Christopher Kelk Ingold, hoogleraar organische chemie aan de Universiteit van Leeds, in 1928 geïntroduceerd. Tenslotte de stabiliteit van de covalente binding waarvoor Lewis geen verklaring kon geven. Elektrostatische krachten zijn hierbij niet aan te geven. De voorstelling van gemeenschappelijke elektronenparen maakte niet duidelijk waarop de binding berust. Er zijn verbindingen bekend zonder octet die toch stabiel zijn. Zoals bekend werd de oplossing gegeven met het golfmechanisch atoommodel (Louis de Broglie, 1924; Arnold Sommerfeld, 1925) en het uitsluitingsprincipe van Wolfgang Pauli (1925). In 1927 konden de Duitse fysici Walter Heinrich Heitler en Fritz Wolfgang London hiermee een kwantummechanische behandeling van de covalente binding in het waterstofmolecuul geven.

Voor de chemicus was vooral belangrijk dat uit de studie van de radioactiviteit volgde dat atomen geen onveranderlijke en onvergankelijke deeltjes zijn. De ontdekking van de nieuwe elementen polonium in juli en radium in december 1898 door het echtpaar Pierre en Marie Curie, was niet zo fundamenteel als de kennis over de natuur van de α- en β-stralen. Dit laatste leidde in 1913 tot de radioactieve verschuivingsregels (onafhankelijk van elkaar ontdekt door Kasimir Fajans in Michigan, Frederick Soddy in Aberdeen en Alexander Smith Russell in Glasgow) en gaf een nieuwe betekenis aan het periodiek systeem van de chemische elementen. Het atoomgewicht bleek niet de meest fundamentele eigenschap van een element te zijn. Uit de vervalreeksen voorspelde men het bestaan van verschillende soorten lood met verschillend atoomgewicht (door Soddy isotopen genoemd, 1913). De experimentele verificatie ervan volgde spoedig door Theodore William Richards in Harvard en Otto Hönigschmidt in Wenen (1914) en voor niet-radioactieve elementen door Francis William Aston in Cambridge, die met zijn massaspectrograaf in 1919 de twee neonisotopen aantoonde.

De ontdekking van isotopen, die dezelfde plaats in het periodiek systeem innemen en zich chemisch identiek gedragen, hield in dat men de elementen niet langer als onveranderlijk kon beschouwen.[2] Friedrich Adolf Paneth (1916) beschowde de isoto-

pen als verschillende 'soorten' van hetzelfde element; Kasimir Fajans (1919) als verschillende elementen van hetzelfde type. In 1923 besloot een internationale commissie dat de kernlading (het atoomnummer) voldoende is om een element te karakteriseren, maar het probleem was hiermee niet opgelost.

Fysische chemie

De ontdekking van de structuur van het atoom, gaf niet alleen een nieuwe richting en een nieuwe impuls aan de anorganische en de organische scheikunde, maar verenigde ze ook nauw met de nieuwe fysische chemie. Toch zien we dat bij de snelle groei van de scheikunde de tendens van een gescheiden ontwikkeling van de verschillende vakgebieden zich aanvankelijk voortzette. De vooruitgang in de fysische chemie had in het begin nog weinig invloed op de rest van de scheikunde.

De fysische chemie had zich tegen het einde van de negentiende eeuw als een zelfstandige discipline naast de al lang bestaande organische en anorganische scheikunde ontwikkeld. In het begin van de twintigste eeuw hielden de fysisch-chemici zich vooral bezig met de eigenschappen van verdunde oplossingen, de bepaling van molecuulgewichten en de relaties tussen fysische eigenschappen en chemische samenstelling. Hoewel de fysische eigenschappen van chemische verbindingen al meer dan een eeuw werden bestudeerd, werd de fysische scheikunde pas tegen het eind van de negentiende eeuw een zelfstandige discipline, vooral door het werk van de Fransman François Marie Raoult en de Zweede Svante Arrhenius over de eigenschappen van verdunde oplossingen en Van 't Hoffs veronderstelling dat op zulke oplossingen de ideale gaswetten zijn toe te passen. Het probleem was dat de gevonden wetten alleen bleken te gelden voor ideale stoffen onder ideale omstandigheden. Spoedig probeerde men ze toepasbaar te maken op in de praktijk voorkomende gevallen.

Nadat in 1864 de Noren Cato Maximilian Guldberg en Peter Waage de wet van de massawerking hadden geformuleerd en de Duitser August Friedrich Horstmann in 1869 als eerste de tweede hoofdwet van de thermodynamica had toegepast op chemische dissociaties (de sublimatie van salmiak), duurde het tot 1883 eer Van 't Hoffs *Études de dynamique chimique* verscheen. De hierin gegeven grondslagen van het chemisch evenwicht en de reactiesnelheid vonden hun bevestiging toen Arrhenius in 1887 met zijn theorie van de elektrolytische dissociatie vele aanvankelijke moeilijkheden, zij het gedeeltelijk, kon oplossen. In het begin van de twintigste eeuw ondervond deze theorie grote belangstelling, hoewel ze alleen toegepast werd op waterige oplossingen en vele kwesties onbeantwoord bleven. Vooral de hoogleraar fysische maar chemici als de Brit Henry Edward Armstrong en de Amerikaan Louis Albrecht Kahlenberg stonden er kritisch tegenover. De veronderstelling dat een waterige oplossing van keukenzout vrije natrium- en choorionen bevat, die toch niets anders zijn dan elektrisch geladen atomen en die zich als vrije moleculen gedragen, moest wel op weerstand stuiten omdat ze in tegenspraak scheen met de ervaring. Critici vroegen zich dan ook af hoe chloor in een keukenzoutoplossing kan zitten zonder oxyderend vermogen en hoe natrium in water kan bestaan zonder waterstof te ontwikkelen. Ze misten uiteraard het onderscheid tussen ion en atoom. Toen later uit het

structuuronderzoek met röntgenstralen en uit de elektronentheorie van de valentie de gevolgtrekking moest worden getrokken dat een zout uit ionen is opgebouwd, werd het echter minder aannemelijk dat bij het oplossen van een zout slechts een deel in ionen zou zijn gedissocieerd en een ander deel niet, zoals uit het gedrag van sterke elektrolytoplossingen volgde. Verschillende chemici hadden al opgemerkt dat het zwakke punt in de theorie van Arrhenius gelegen was in het verwaarlozen van interionische krachten. Men 'loste' dit op door aan te nemen dat de ionisatie volledig is in alle concentraties, maar dat afhankelijk van de concentratie de bijdrage van een ion aan een verschijnsel verschillend is. Gilbert Newton Lewis voerde hiertoe het begrip activiteit in (slechts een deel van de ionen wordt verondersteld 'actief' te zijn) om zo de ideale chemisch-fysische wetten te kunnen handhaven (1908). Na verschillende vergeefse pogingen om dit kwantitatief uit te werken, was het Peter Debye die in 1923 met zijn leerling Erich Hückel een bevredigende theorie gaf. In 1926 werden hun berekeningen verbeterd door de Noor Lars Onsager. De theorie was gebaseerd op de veronderstelling dat elk ion in oplossing omgeven is door een atmosfeer van ionen van tegengestelde lading. Onsager hield daarbij tevens rekening met de Brownse beweging van de ionen.

Al bij Guldberg en Waage vinden we de opvatting dat chemische verschijnselen het gevolg zijn van botsingen van de moleculen. Dit leidde tot het begrip activeringsenergie (Arrhenius, 1889). De interpretatie van de katalytische versnelling of vertraging van chemische reacties als verlaging of verhoging van de activeringsenergie, was vooral waardevol bij de toepassing op technische gasreacties. Men kreeg interesse voor adsorptie als middel om het gedrag van katalysatoren te verklaren, hetgeen leidde tot het opstellen van isothermen door Herbert Freundlich (1909) en Irving Langmuir (1916). Niet alleen adsorptie van gassen werd bestudeerd, maar ook van oplosmiddelen, een verschijnsel dat een belangrijke rol speelt bij de zuivering van oplossingen en direct te maken heeft met de later ontwikkelde chromatografie. Vanaf 1921 maakte men gebruik van selectieve adsorptie voor de zuivering van enzymen en andere biologisch belangrijke stoffen.

De thermodynamische behandeling van de problemen van het chemisch evenwicht leidde tot grote vooruitgang in alle takken van de scheikunde. In 1906 gaf Walther Nernst in Berlijn zijn hypothese dat bij het absolute nulpunt de entropie van zuiver gekristalliseerde verbindingen nul is (derde hoofdwet van de thermodynamica). Hiermee was het mogelijk thermodynamische grootheden absoluut te bepalen. Nerst en Lewis pasten de thermodynamica toe op de studie van elektrochemische verschijnselen. Analytisch-chemici gebruikten haar voor de interpretatie van evenwichten tussen basen en zuren en vooral in de theorie van de kleurindicatoren. Nadat Arrhenius met succes de eigenschappen van zuren en basen toegeschreven had aan respectievelijk het watertsof- en het hydroxylion, voerde de Deense scheikundige Sören Peter Lauritz Sörensen in 1909 het begrip pH in. Maar de theorie faalde voor niet-waterige oplossingen. Verbeteringen gaven de theorieën van de Denen Johannes Brönsted en Niels Bjerrum, de Engelsman Thomas Martin Lowry (1923) en van Lewis (1926 met uitwerking in 1938). De *Zwitterionen* van Bjerrum bleken met succes bruikbaar te zijn voor de biochemie (Fritz Arndt, 1924).

In de fysische chemie kwamen al vroeg twee benaderingswijzen voor: een thermody-

namische en een atomistische. In 1907 vond Nerst het nog niet zinvol na te gaan aan welke van de twee we de voorkeur zouden moeten geven. Volgens hem moesten we ons verheugen twee zulke machtige, onontbeerlijke hulpmiddelen van het natuurwetenschappelijk denken te bezitten. Hoewel de thermodynamica de chemicus hielp een aantal theoretische en industriële problemen op te lossen, kon ze niet gebruikt worden voor de verklaring van de opeenvolgende fasen van de chemische reacties. Men bestudeerde immers alleen chemische systemen in evenwicht en verwaarloosde de wijze waarop de evenwichten worden bereikt. De hypothese van Van 't Hoff dat de reactiesnelheid een functie is van de temperatuur en de concentratie (1884) was, evenmin als Arrhenius' introductie van de activeringsenergie, erg succesvol.

Wel betekende het thermodynamisch affiniteitsbegrip een verandering in het denken van chemici over dit onderwerp. Ze dachten niet langer over affiniteiten tussen atomen, maar over affiniteit voor een bepaald chemisch proces. Omdat dit een statistisch begrip is, was er weinig verband tussen de manier waarop een thermodynamisch chemicus en een organisch chemicus er gebruik van maakte. Het is tekenend dat een vootaanstaand thermodynamisch chemicus als Wilhelm Ostwald niet overtuigd was van het bestaan van atomen.

Twee belangrijke onderwerpen uit de fysische chemie waren de colloïdchemie en de fasenleer. De colloïdchemie kwam pas in deze eeuw tot ontwikkeling, hoewel de grondslagen al gelegd waren door Thomas Graham (1861). De eigenschappen van colloïdale stoffen waren zo verwarrend en de onderzoeksmethoden zo onvoldoende, dat er in de negentiende eeuw maar weinig vooruitgang was gemaakt. De ultramicroscoop van Richard Zsigmondy (1903) opende nieuwe mogenlijkheden, maar snelle ontwikkeling vond pas plaats na de classificatie van de colloïden door Wolfgang Ostwald in 1907. In ons land deden J.M. van Bemmelen en later vooral H.R. Kruyt baanbrekend werk op dit gebied.

Wat betreft de fasenleer, waarvan het fundament in 1874-1878 door Josiah Willard Gibbs in twee verhandelingen was neergelegd, deze ontwikkelde zich vrijwel geheel in ons land. J.D. van der Waals wees zijn leerling H.W. Bakhuis Roozeboom op het belang van de theorie van Gibbs. Bakhuis Roozeboom vond in de ontwikkeling van de fasenleer zijn levenswerk. Hij werkte er aan in Leiden als assistent van Van Bemmelen en later in Amsterdam, terwijl F.A.H. Schreinemakers het werk in Leiden voortzette.

Samenvattend kunnen we concluderen dat omstreeks 1925 de fysische chemie voldoende ontwikkeld was om bruikbaar te zijn op tal van gebieden van de industriële en de zuivere chemie. Industriële planning werd in het bijzonder geholpen door toepassingen van de fasenregel, evenwichtsconstanten, reactiesnelheden en katalysatoren, terwijl de kennis van de thermodynamica vooral belangrijk was voor de snel groeiende petroleumindustrie.

Anorganische chemie

Over de anorganische chemie zullen we kort zijn. Alfred Werner had tegen het eind van de negentiende eeuw een structuurtheorie gegeven voor de complexe anorgani-

sche verbindingen. Hij voerde het begrip coördinatiegetal in en paste de stereochemie van Van 't Hoff toe op de anorganische chemie. Met zijn indeling van hoofd- en nevenvalenties keerde hij weer terug naar het al door August Kekulé gemaakte onderscheid tussen atoom- en molecuulverbindingen: atomen zijn gebonden door hoofdvalenties, moleculen door nevenvalenties. Een adequate theorie over de natuur van de chemische binding kon Werner echter nog niet geven. Dat zou duren tot na de publicatie van Bohrs atoomtheorie. De anorganische chemie hield zich in het eerste kwart van de twintigste eeuw dan ook vooral bezig met twee onderwerpen: de bepaling van atoomgewichten en het onderzoek van de chemische eigenschappen en de plaats in het periodiek systeem van nieuw ontdekte elementen, de zeldzame aardmetalen, edelgassen en radioactieve elementen.

Organische chemie

Met het werk van Kekulé (de vierwaardigheid van het koolstofatoom, de mogelijkheid van koolstof tot het vormen van koolstof-koolstofketens en de structuur van aromatische verbindingen) en van Van 't Hoff en Le Bel (de stereochemie), kreeg de klassieke organische structuurtheorie rond 1875 een voorlopige afsluiting. Ze was in staat voor de volgende decennia vrijwel alle experimentele resultaten bevredigend te verklaren. Wilhelm Körner loste het vraagstuk van de absolute plaatsbepaling in benzeenderivaten op (1874). Een probleem was de veronderstelling van Kekulé dat op symmetriegronden in het benzeenmolecuul afwisselend enkele en dubbele bindingen moesten voorkomen. Omdat hiermee niet te verklaren was dat er maar drie disubstitutieproducten van benzeen zijn, noch het feit dat benzeen veel moeilijker halogeen addeert dan onverzadigde koolwaterstoffen doen, werden er verschillende alternatieve benzeenformules opgesteld (James Dewar, 1867; Adolf Carl Ludwig Claus, 1867; Albert Ladenburg, 1869). Vooral de prismaformule van Ladenburg was van betekenis. Ze werd beschouwd als van gelijke waarde als de formule van Kekulé. Gebruikte onze landgenoot Antoine Paul Nicolas Franchimont in zijn *Leiddraad bij de studie van de koolstof en hare verbindingen* van 1878 de Kekuléformule, in de tweede druk van 1881 gaf hij de voorkeur aan de prismaformule. Het was Adolf von Baeyer die door zijn benzeenonderzoekingen (vanaf 1886) de genadeslag aan de prismaformule toebracht. In 1915 werd de formule van Kekulé algemeen gebruikt, zij het met het idee van de partiële valenties van Johannes Thiele (1889).

Een ander probleem dat tot oplossing werd gebracht, was de plaatsbepaling bij invoering van substituenten in de benzeenkern (Arnold Frederik Holleman, 1910), welke weer belangrijk was voor de synthetische organische chemie. De bestudering van het cyclohexaanevenwicht (Hermann Sachse, 1890; Ernst Mohr, 1918; Walter Hückel, 1925) leidde tot het begin van de conformatie-analyse (Walter Norman Haworth, 1929). Von Baeyer nam voor de verklaring van de geometrische isomeren van cyclohexaanderivaten een vlakke structuur aan. De theorie van Sachse, gemodificeerd door Mohr, postuleerde dynamische isomerie tussen twee mogelijke spanningsvrije configuraties van cyclohexaan, maar had geen invloed op de conformatie-analyse. Dat hadden ook niet de uit de jaren twintig door Jacob Böeseken, Christiaan van Loon, Henri George Derx en Petrus Hendrik Hermans in Delft uitgevoerde on-



A. P. N. Franchimont

I. Antoine Paul Nicolas Franchimont (1844-1919), van 1874 tot 1914 hoogleraar organische chemie in Leiden.

derzoekingen over de stereochemie van de boorzuurcomplexen met polyhydroxy-verbindingen en van cyclische ketalen uit diolen met aceton.

Op 17 september 1900 deed Van 't Hoff in een voordracht voor de Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in Aken de optimistische uitspraak: ‘Die künstliche Darstellung, die Synthese, erscheint im Stande auch die subtilste Verbindung darzustellen. Zweimal schien sie auf diesem Weg halt machen zu müssen, einmal vor der Grenze, welche organische, sagen wir im Organismus hergestellte Verbindungen von anorganischen trennt; durch Wöhler's Synthese des Harnstoffs fiel in der officiellen Meinung diese Einschränkung fort. Dann aber war es kein geringerer als Pasteur, der die Herstellung von optisch-aktiven Körpern für das Leben in Anspruch nahm, aber wir kennen seitdem bis in Einzelkeiten den Weg, der auch zur Lösung dieser Aufgabe führt, und der Chemiker ist überzeugt, dass er gehen wird bis an die Zelle, die als organisirte Substanz dem Biologen zufällt. Die höchste Leistung ist wohl hier in der Synthese der natürlichen Farbstoffe wie Alizarin (Graebe und Liebermann) und Indigo (v. Baeyer), der Alkaloide wie Coniin (Ladenburg) und des Traubenzuckers durch Emil Fischer gegeben; nur die Eiweisskörper und die Enzyme stehen noch aus. Das sind aber eben gerade die speziellen Handwerkzeuge des Lebens’.[3]

In het begin van de twintigste eeuw bezat de organische chemie een ruim arsenaal van algemene synthesemethoden voor de bepaling van de structuur van organische verbindingen. Men stelde de bouw van veel natuurstoffen vast, slaagde in de synthese van een aantal daarvan en bestudeerde het verband tussen bepaalde structuurkenmerken en het chemisch gedrag. Talrijke fabrieken voor kleurstoffen en farmaceutische preparaten werden opgericht. Natuurlijk was men er nog niet. Het structuuronderzoek was zeer bewerkelijk en moeizaam zodat de structuur van de meer complexe natuurstoffen nog onbekend was. Maar men geloofde dat dit slechts een kwestie van tijd was. Omdat er alleen chemische methoden ter beschikking stonden, kon men niet veel zeggen over de nauwkeurige rangschikking van de atomen in het molecuul. Omstreeks 1900 nam de organische scheikunde een scherp begrensde positie in ten opzichte van de overige natuurwetenschappen. Van de biologie was ze principieel gescheiden door het uitbannen van de levenskracht bij het interpreteren van de reactieverschijnselen. Het afwijkend gedrag van de koolstofverbindingen bracht een scheiding mee met de anorganische chemie. De organicus uit die tijd was in de eerste plaats empiricus. De grondslag van zijn werk was meestal gebaseerd op een aantal intuïtieve gedachten.

Dit beeld veranderde snel. Samenwerking met de fysische chemie leidde tot snellere structuurbepalingen, ook van complexe verbindingen van biologische oorsprong. Dit bracht chemie en biologie bij elkaar in de biochemie (eerst fysiologische chemie genoemd), waarvan de snelle groei bekend is.

Tegen het eind van de negentiende eeuw werden er feiten bekend die de organische chemie in nieuwe banen zou leiden. Belangrijk waren vooral de ontdekking van radioactiviteit en röntgenstralen omdat hiermee de mogelijkheid geopend werd de organische verbindingen beter te onderzoeken en een moderne theorie van de chemische binding te ontwikkelen. Terwijl de klassieke negentiende-eeuwse organische scheikunde zich bezighield met de eigenschappen van verbindingen die als verzamelingen van moleculen werden beschouwd, kon men nu het afzonderlijke molecuul

gaan onderzoeken om zo tot kennis te komen niet alleen van de onderlinge rangschikking van de atomen in het molecuul, maar ook van de krachten die ze samenhouden. Men kon zelfs de afmetingen van de moleculen vaststellen, de afstanden tussen hun atomen en de hoeken waarin de valenties in de ruimte zijn gericht. In 1912 voerden Max von Laue, Walter Friedrich en Paul Knipping de eerste röntgeninterferentie van kristallen uit. Hieruit ontwikkelde zich de röntgenstructuuranalyse van organische verbindingen waardoor het mogelijk was experimenteel bindingsafstanden en valentiehoeken in organische stoffen te bepalen. De interpretatie van de interferentiepatronen werd opgelost door vader William Henry en zoon William Lawrence Bragg. Peter Debye en Paul Hermann Scherrer (1916) gaven een praktisch bruikbare analysemethode. Voor organische moleculen kon men nu de objectieve juistheid van de theoretische voorstellingen over atomaire en moleculaire structuur, inclusief de zeshoekige benzeenstructuur, experimenteel bewijzen.

Andere fysische methoden voor het structuuronderzoek dateren van later datum. In 1912 onderzocht Debye dipoolmomenten en polariseerbaarheid van organische moleculen, welke hij later toepaste voor het onderzoek van molecuulstructuren (1929). Van bijzonder belang was de informatie die men over interatomaire afstanden en moleculaire configuraties kon krijgen uit de studie van de molecuulspectra, in het bijzonder van de infraroodspectra. De ontwikkeling hiervan kwam pas goed op gang na 1925.

De succesvolle structuurbepaling van het indigo (1883) door Adolf von Baeyer, die vol trots kon zeggen dat 'jetzt der Platz eines *jeden* Atomes im Molekül dieses Farbstoffes auf experimentellem Wege festgestellt' was[4], was het begin van een snelle ontwikkeling van de studie van organische natuurstoffen door constitutie-opheldering en synthese. In het begin van de twintigste eeuw werden steeds gecompliceerdere verbindingen onderzocht, in eerste instantie geneesmiddelen, reukstoffen, e.d., maar spoedig ook de amorfe en hoog-moleculaire stoffen waarvoor men vroeger geen aandacht had. In 1920 gaf Hermann Staudinger de eerste duidelijke uiteenzetting over de natuur van de polymeren. Hij introduceerde de term macromoleculen voor grote polymerisatieproducten. Dit leidde tot belangrijke industriële toepassingen. Daarnaast zien we een snelle ontwikkeling in de structuur en synthese van natuurstoffen die van grote biologische en farmaceutische betekenis zijn (eiwitten, nucleïnezuren, alkaloïden, grote ringsystemen). Van belang was de ontdekking dat kleine hoeveelheden stoffen zoals hormonen en vitaminen een belangrijke rol spelen voor het leven. Dit leidde tot het opstellen van algemene mechanismen voor de energieproductie door oxydatie van voedsel en de rol van hormonen en vitaminen daarin (Frederick Gowland Hopkins, 1906).

Het beeld van de empirische organische chemie in het eerste kwart van onze eeuw weerspiegelt zich ook in ons land, waar deze tak van de scheikunde pas goed begon toen A.P.N. Franchimont in 1874 tot hoogleraar aan de Leidse universiteit werd benoemd. Dat de theoretische organische chemie niet geheel verwaarloosd werd, blijkt bijvoorbeeld uit het werk van Conrad Peter Laar, die al in 1885 het begrip tautomerie of desmotropie invoerde voor verbindingen waarvoor men, gezien de omzettingen, twee of meer structuurformules moest aannemen, zoals de acetylazijnester. In 1900 was het nog niet duidelijk of bij dergelijke verbindingen sprake is van een mengsel

van twee of meer stoffen (Laar), of dat de beide vormen continu in elkaar overgaan (August Kekulé, Ludwig Knorr), of dat onder bepaalde omstandigheden de ene of de andere vorm stabiel is.

Pas in 1923 ontwikkelden Arthur Lapworth, Christopher Kelk Ingold en Robert Robinson de hypothese dat bepaalde groepen in organische verbindingen aantrekkend of afstotend zijn voor elektronen. Hierdoor ontstaat er een verplaatsing van elektronen in het molecuul waarmee te verklaren is waarom bepaalde delen van het molecuul al of niet reageren met bepaalde reagentia. De theorie van de resonantie of mesomerie stamt pas van na 1925. Was omstreeks 1925 de organische scheikunde nog overwegend een 'kookchemie', daarna veranderde de experimentele aard ervan sterk onder meer door de kwantumtheorie en het röntgenstructuuronderzoek.[5]

Analytische chemie

De analytische chemie maakte een aanzienlijke vooruitgang in het begin van deze eeuw. Dank zij de fysische chemie was een theoretische studie mogelijk van de traditionele gravimetrische en volumetrische methoden. Essentieel was de vermindering van de hoeveelheid uitgangsmateriaal die men voor een analyse nodig had, hetgeen van groot belang was voor de fysiologische chemie en de chemie van de radioactieve stoffen. Carl Remigius Fresenius gebruikte in 1845 een tot drie gram uitgangsmateriaal, Frédéric Pearson Treadwell in 1900 honderd tot driehonderd milligram, maar pas met de ontwikkeling van de microbalansen kon de echte microgravimetrie zich ontwikkelen resulterend in het klassieke werk van de Oostenrijkse chemici Friedrich Emich (1910) en Fritz Pregl (1917). Hoewel optische en elektrische methoden al uit het laatste kwart van de negentiende eeuw dateren (zichtbare emissie- en absorptie-spectroscopie, colorimetrie, polarimetrie, potentiometrie, refractometrie), kwamen deze technieken pas goed tot ontwikkeling in het tweede kwart van onze eeuw. Men kende wel de principes, maar de praktische toepassing liet nog lang op zich wachten. Toen Jaroslav Heyrovský in 1920-1922 de polarografie introduceerde, had men slechts enkele elektrochemische analysemethoden ter beschikking: naast de elektroanalyse (kwalitatief sinds 1800, kwantitatief sinds 1864) de potentiometrie (1893) en de conductometrie (1910). Praktische belangstelling ervoor ontstond echter pas in de jaren twintig. De eerste polarograaf dateert uit 1925, de theorie werd pas in 1935 duidelijk. Van belang voor de praktische toepassing van deze technieken was vooral de ontwikkeling van de elektronica tijdens en vlak na de Tweede Wereldoorlog. Het na 1945 algemeen in gebruik komen van radioactieve tracers in chemie, biologie, medicijnen en industrie, kon pas plaats vinden nadat kunstmatige radioactieve isotopen beschikbaar kwamen (1935). Maar al in 1913 hadden György Hevesy en Friedrich Adolf Paneth aangetoond dat kleine hoeveelheden RaD (Pb 210) gebruikt konden worden als radioactieve indicatoren voor de bepaling van de oplosbaarheden van slecht oplosbare loodzouten en gebruikte Hevesy ThB (Pb 212) voor een studie van de opname van lood door planten.

Hetzelfde zien we bij de vele chromatografische technieken die de laatste decennia zijn ontwikkeld. Ook deze methoden waren al veel eerder bekend. De eerste die papierchromatografie wetenschappelijk uitvoerde was Friedlieb Ferdinand Runge

(1850), het begin van de wetenschappelijke kolomchromatografie dateert met het werk van David Talbot Day (1897) en Michael Tswett (1903). Maar dat wil niet zeggen dat vóór Runge en Day geen chromatografie werd bedreven. Al uit de oudheid zijn waarnemingen bekend waarbij gebruik werd gemaakt van de grondslagen van de chromatografie (zoals de filtratie van troebel water door poreuze aarde). Gedurende de eerste helft van de negentiende eeuw werden zowel papier- als kolomchromatografie praktisch toegepast, vooral voor de controle van technische processen (papierchromatografische controle van kleurstofbaden) of voor het kolomchromatografisch onderzoek van de akkerbodem door Engelse landbouwchemici omstreeks 1850. Pas in 1931 werd de kolomchromatografische scheiding van polyeenkleurstoffen beschreven, terwijl de verdelingschromatografie in 1941, de papierchromatografie in 1944 en de gasvloeistofchromatografie in 1952 werden geïntroduceerd.

Besluit

De systematisatie van de organische en anorganische chemie was vrijwel compleet tegen het eind van de negentiende eeuw en de vooruitgang in beide takken had vooral door zuiver chemische methoden plaats gevonden. De organisch-chemicus was in het algemeen geen getraind fysicus, waardoor de kloof tussen schei- en natuurkunde steeds groter werd. De vooruitgang in de fysische chemie had in het begin slechts weinig invloed op de rest van de scheikunde. De ontdekking van de structuur van het atoom, waarmee de twintigste eeuw opende, gaf niet alleen een nieuwe richting en nieuwe impuls aan de anorganische en de organische chemie, maar verenigde ze ook nauw met de fysische scheikunde. De snelle groei van de scheikunde in het eerste kwart van onze eeuw leidde tot specialisering binnen deze wetenschap zelf. Dit komt al vroeg tot uitdrukking in de verschillende vaktijdschriften: *Zeitschrift für physiologische Chemie* (1877), *Zeitschrift für physikalische Chemie* (1887), *Zeitschrift für Elektrochemie* (1894), *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide* (1906), *Biochemische Zeitschrift* (1906), enz.

De oproep van Pieter Eduard Verkade en Jan Coops in het *Chemisch Weekblad* van 20 juni 1925 om te komen 'tot vorming van een sectie voor organische chemie' had dan ook snel succes. De sectie werd op 20 juli 1925 opgericht, op 29 december 1925 gevolgd door de sectie analytische chemie en de sectie fysische chemie. Kenmerkend voor deze periode blijft echter de groeiende onderlinge afhankelijkheid van de verschillende natuurwetenschappen, die tot overbruggende diciplines leidde, waardoor de scheikunde een verbinding werd tussen natuurkunde en biologie. Deze ontwikkeling zette zich vooral na 1925 voort. De fysisch- en organisch-chemici werkten samen in de verdere ontwikkeling van de elektronentheorie van de organische structuur. De mineralogen en geologen met chemici en fysici in de bepaling van de kristalstructuur en oudheidsdateringen. De biologen maakten gebruik van de nieuwe technieken van de fysische chemie voor het oplossen van problemen over de natuur van de eiwitten en van tracers bij het onderzoek naar het metabolisme. Werd de individuele wetenschapper steeds meer een specialist, hij was zich goed bewust van de waarde van samenwerking met andere specialisten. Het resultaat waren grenswetenschappen met als voornaamste de biochemie.

Een andere verandering werd teweeggebracht door de Eerste Wereldoorlog. Tot 1914 domineerde Duitsland over het gehele gebied van het chemisch onderzoek, getuige onder andere de steeds grotere concentratie van de chemische industrie in dat land. De krachtsinspanning die de geallieerden in de vier oorlogsjaren moesten leveren, bracht ook hier een ommekeer teweeg.

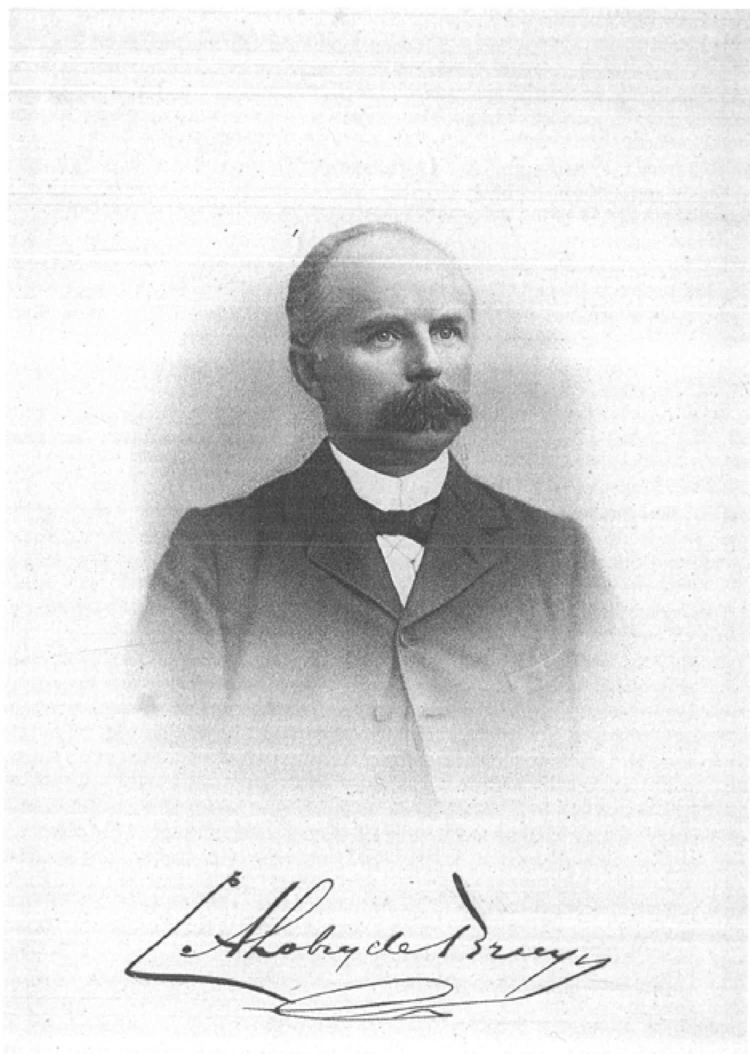
Tegen 1925 zag men zelfs de schaduwzijde van de chemische wetenschap. De Engelse schrijver John Galsworthy veronderstelde dat de wereld meer bereid is wetenschap en uitvindingen te gebruiken voor vernietigingsdoeleinden dan voor sociale vooruitgang en dat het 'more hopeful [is] of perfecting poison gas than of abating coal smoke'. Veel indruk maakte dit niet. De Britse chemicus Edward Frankland Armstrong meende dat dit pessimisme een dwaling is 'due to the fact that we view the happenings of the world to-day in a mirror prepared by a Press which only reflects the sensational'.[6] De ontwikkeling van de scheikunde in de laatste vijftig jaar heeft echter wel anders geleerd.

De scheikunde in Nederland: 1900-1950

In ons land heeft de scheikunde, als de overige natuurwetenschappen, in het laatst van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw een grote bloeitijd gekend.[7] De wetenschappelijke beoefening ervan heeft sindsdien een grote vlucht genomen. De toestand van de scheikunde rond het midden van onze eeuw is alleen te begrijpen als men zich van deze bloeitijd bewust is. Een overzicht van 'de belangrijkste bijdragen van Nederlandse chemici in de laatste halve eeuw' van H.J. Backer (1953) geeft een goede eerste indruk.[8]

Na het Utrechts hoogleraarschap van Gerrit Jan Mulder (1802-1880), de grondlegger van zowel de fysiologische chemie als van het praktisch chemie-onderwijs in ons land, traden door hun wetenschappelijk werk vooral Van 't Hoff, Van Bemmelen en Franchimont op de voorgrond.

Jacobus Henricus van 't Hoff (1852-1911), van 1878 tot 1895 hoogleraar aan de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam, had voor zijn promotie in Utrecht zijn theorie van het asymmetrisch koolstofatoom gepubliceerd (1874) en in Amsterdam in 1884 zijn *Études de dynamique chimique* uitgegeven, waarin hij de osmotische druk als hulpmiddel gebruikte om de thermodynamica op een eenvoudige manier op oplossingen te kunnen toepassen. Met dit boek en zijn theorie van de verdunde oplossingen (1886) was hij een van de grondleggers van de fysische of, zoals men toen zei, algemene scheikunde. In tegenstelling tot geleerden als Josiah Willard Gibbs, Hermann von Helmholtz en Henry le Chatelier dankt de nieuwe fysische chemie aan Van 't Hoff haar snelle vooruitgang, vooral dank zij de vorm waarin hij zijn opvattingen goot en die de chemici uit zijn tijd veel sterker aansprak dan hun meer fysisch georiënteerde collega's. 'De warmte gaat uit de chemie wanneer wij te mathematisch worden. De wiskunde blijve steeds een onzer hooggewaardeerde hulpmiddelen, allereerst echter moeten wij de verschijnselen in het oog houden', heeft Van 't Hoff eens tegen een van zijn leerlingen (Ernst Cohen) gezegd.[9] Het zou vooral J.J. van Laar zijn, die zich zijn gehele wetenschappelijke leven zou beijveren de Gibbs'se potentiaal als grondslag van de fysische chemie te gebruiken.



II. Cornelis Adriaan Lobry van Troostenburg de Bruyn (1857-1904), van 1896 tot 1904 hoogleraar organische chemie te Amsterdam.

Jacobus Maarten van Bemmelen (1830-1911), die van 1874 tot 1901 hoogleraar scheikunde aan de Leidse universiteit was, begon zijn wetenschappelijke loopbaan met landbouwkundige onderzoekingen. De belangrijke en uitvoerige onderzoekingen over het absorptievermogen van de akkeraarde van deze ‘voorloper’ van de colloïdchemie, werden in 1910 door Wolfgang Ostwald, een zoon van de bekende fysico-chemicus Wilhelm Ostwald en zelf een van de grondleggers van de moderne colloïdchemie, in boekvorm als *Die Absorption. Gesammelte Abhandlungen über Kolloide und Absorption* bijeengebracht. Van Bemmelens leerling H.W. Bakhuis Roozeboom (1854-1907), de grondlegger van de fasenleer, volgde in 1896 Van 't Hoff in Amsterdam op.

Tenslotte Antoine Paul Nicolas Franchimont (1844-1919), die in 1874 de eerste afzonderlijke leerstoel voor organische chemie in ons land aan de Leidse universiteit aanvaardde en tot zijn emeritaat in 1914 grote invloed op deze tak van de scheikunde, die hij veertig jaar met volledige inzet doceerde, uitoefende. Van zijn leerlingen werden er niet minder dan vijf hoogleraar: A.F. Holleman, C.A. Lobry de Bruyn, P. van Romburgh, F.M. Jaeger en H.J. Backer.[10]

In het begin van deze eeuw werd de scheikunde aan de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam gedoceerd door Bakhuis Roozeboom (van 1896 tot 1907) en Lobry de Bruyn (van 1896 tot 1904). In Leiden waren dat Van Bemmelen (van 1874 tot 1901) en Franchimont (van 1874 tot 1914); in Groningen Holleman (van 1893 tot 1905, toen hij naar Amsterdam vertrok) en in Utrecht Eduard Mulder (van 1864 tot 1902) en Hendrik Cornelis Dibbits (van 1876 tot 1903). Aan de Polytechnische School in Delft, die in 1905 tot Technische Hogeschool werd verheven, was de chemie vertegenwoordigd door Sebastiaan Hoogewerff (van 1885 tot 1907) en Ludwig Levin Aronstein (van 1895 tot 1911). Uit dit overzicht blijkt dat in het begin van de eeuw vrijwel alle leerstoelen in de scheikunde opnieuw moesten worden bezet.

De dubbele vacature die in 1902 in Utrecht door het vrijwel gelijktijdig aftreden van Dibbits en E. Mulder was ontstaan, werd opgevuld door E. Cohen voor de algemene (fysische) en anorganische scheikunde en P. van Romburgh voor de organische chemie. Cohen ging in 1939 met emeritaat en werd opgevolgd door J.M. Bijvoet. In 1916 werd H.R. Kruyt buitengewoon en in 1921 gewoon hoogleraar in de fysische en de colloïdchemie. Hij vertrok in 1946 naar TNO en werd opgevolgd door J.Th.G. Overbeek. Van Romburgh doceerde ook de propedeuse in de anorganische chemie, tot de lector-titulair Th. Strengers dat in 1910 van hem overnam. In 1926 werd Van Romburgh opgevolgd door een leerling van H. Staudinger, de Zwitser L.S. Ruzicka. Al in 1929 vertrok deze weer toen hij benoemd werd op de leerstoel voor organische en anorganische chemie aan de Eidgenössische Technische Hochschule in ZÏrich. Hij werd opgevolgd door F. Kögl, die Göttingen voor Utrecht verruilde, waar hij tot zijn overlijden in 1959 hoogleraar was. Tenslotte werd Strengers in 1948 opgevolgd door J. Smittenberg, die hoogleraar in de anorganische en de propedeutische scheikunde werd.

In Leiden werd Van Bemmelen opgevolgd door F.A.H. Schreinemakers en na diens overlijden in 1934 door A.E. van Arkel. De organische chemie werd na Franchimont vertegenwoordigd door J.J. Blanksma (1914) en E. Havinga (1946); de fysische chemie in 1947 door C.J.F. Böttcher. W.P. Jorissen was vanaf 1908 lector in de fysische chemie.

Nadat in 1905 Holleman Groningen voor Amsterdam verruilde, nam de hoogleraar farmacie J.F. Eykman de scheikunde voor zijn rekening en werd er een nieuwe hoogleraar artsenijbereidkunde benoemd. Voor de propedeuse eiste Eykman een lector naast zich. Hiervoor werd J. Böeseken benoemd, die na zijn vertrek als hoogleraar naar Delft werd opgevolgd door F.M. Jaeger (1908). Deze werd in 1909 benoemd tot hoogleraar anorganische en fysische chemie, waarop Eykman zich geheel tot de organische chemie kon beperken. Na het overlijden van Eykman in 1915 werd midden 1916 Backer als zijn opvolger benoemd. In Groningen werd in de daaropvolgende dertig jaar de scheikunde alleen door Jaeger en Backer vertegenwoordigd. Jaeger trad in 1943 af en overleed twee jaar later. Zijn opvolging werd pas na de bevrijding geregeld, waarbij de noodzakelijke splitsing van zijn leerstoel in anorganische chemie en fysische chemie tot stand kwam door de benoeming van respectievelijk E.H. Wiebenga en J.J. Hermans.

De Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam werd in het begin van de eeuw zwaar getroffen door het vroegtijdige overlijden van de ordinarii Lobry de Bruyn in 1904 en Bakhuis Roozeboom in 1907. Lobry de Bruyn werd in 1905 door Holleman opgevolgd en Bakhuis Roozeboom in 1907 door A. Smits. Gepasseerd werd de markante en begaafde J.J. van Laar, wiens wetenschappelijke carrière sterk door de natuurkundehoogleraar J.D. van der Waals werd tegengewerkt. Deze zag de colleges mathematische chemie (chemische thermodynamica), die Van Laar sinds 1898 als privaatdocent gaf, als een bedreiging voor zijn eigen colleges thermodynamica voor aanstaande chemici. Iedere poging om Van Laar tot lector te benoemen werd door Van der Waals met succes verhinderd, zoals E.P. van Emmerik overtuigend heeft aangetoond.[11] Na het overlijden van Bakhuis Roozeboom nam Van Laar weliswaar de colleges fasenleer over, maar als opvolger werd Smits gekozen. Nadat Van der Waals in 1908 met emeritaat ging, werd Ph.A. Kohnstamm tot buitengewoon hoogleraar in de thermodynamica benoemd. Hij doceerde de thermodynamica, inclusief de chemische thermodynamica, zowel voor studenten in de natuurkunde als in de scheikunde. Van Laar werd lector in de propedeutische wiskunde voor chemici, maar vertrok in 1912 wegens gezondheidsredenen naar Zwitserland, waar hij tot aan zijn overlijden in 1938 woonde en werkte. Kohnstamm hield zich steeds meer bezig met pedagogisch en didactisch onderzoek en legde in 1928 zijn hoogleraarschap in de natuurkunde neer. Toen pas werd, naast het college thermodynamica van de lector, de fysicus A.M.J.F. Michels, plaats gemaakt voor het vak chemische thermodynamica, dat gegeven werd door de chemicus J.M. Bijvoet. Het was Smits die er er naar streefde ‘te bereiken, dat, naast hetgeen ik zelf gaf, de belangrijkste overige richtingen op het gebied der physische chemie hier in Amsterdam goed vertegenwoordigd zouden zijn’, zoals hij in zijn afscheidscollege in 1940 memoreerde.[12] Bakhuis Roozeboom had er al in 1907 voor gezorgd dat de elektrochemie door een lector (A.H.W. Aten) werd gegeven. Toen Smits op zijn verzoek ontlast werd van het propedeutisch onderwijs, werd dat opgedragen aan de lector E.H. Büchner, die tevens de colloïdchemie kreeg (1919). In 1929 werd Smits' assistent en privaatdocent J.M. Bijvoet lector in de kristallografie, röntgenanalyse en chemische thermodynamica en in 1933 de assistent H. Gerding privaatdocent in de fotochemie. De organische chemie werd na het emeritaat van Holleman opgedragen aan de lector J.P. Wibaut (1925).

Aan de Technische Hogeschool te Delft waren in 1905 als hoogleraren werkzaam S. Hoogewerff en L.L. Aronstein.[13] De opleiding tot scheikundig ingenieur in de onderafdeling scheikundige technologie en mijnbouwkunde begon met vijf docenten: naast Hoogewerff en Aronstein waren dat M.W. Beijerinck, H. ter Meulen en P.D.C. Kley. In 1912 werd de afdeling gesplitst in scheikundige technologie en in mijnbouwkunde. Het belang van de biotechnologie voor scheikundige ingenieurs was al aan het eind van de negentiende eeuw ingezien en had in 1895 geleid tot de benoeming van M.W. Beijerinck tot hoogleraar in de toegepaste microbiologie en microscopische anatomie. Hij bleef dat tot 1921 en werd toen opgevolgd door A.J. Kluyver. Bovendien was er met het oog op Nederlands Oost-Indië belangstelling voor natuurlijke grondstoffen, waardoor ook de technische botanie op het studieprogramma stond. G. van Iterson jr., van 1907-1948 hoogleraar in de microscopische anatomie, deed onderzoek naar rubber, hout, papier, kunststoffen en vezels.

Een lange rij van hoogleraren doceerde in Delft in de eerste helft van deze eeuw. Voor de anorganische en fysische chemie noemen we A. Smits (van 1906 tot 1907), W. Reinders (van 1908 tot 1939), F.E.C. Scheffer (van 1917 tot 1953) en W.G. Burgers (van 1940 tot 1967); voor de organische chemie J. Böeseken (van 1907 tot 1938) en P.E. Verkade (van 1938 tot 1961) en voor de analytische chemie H. ter Meulen (van 1905 tot 1936) en C.J. van Nieuwenburg (van 1920 tot 1960). Onder de hoogleraren scheikundige technologie komen we A.M.A.A. Steger (van 1912 tot 1944), H.I. Waterman (van 1919 tot 1959) en P.M. Heertjes (van 1946 tot 1978) tegen.

Tenslotte noemen we de Vrije Universiteit in Amsterdam, die in 1929 als eerste hoogleraar voor de scheikunde J. Coops benoemde. De Landbouwhogeschool te Wageningen, in 1918 opgericht, kreeg als eerste hoogleraren in de scheikunde J.H. Aberson en S.C.J. Olivier. Behalve aan de universiteiten en hogescholen waren er in de eerste helft van deze eeuw ook belangrijke buiten-universitaire centra van onderzoek, waaronder in de eerste plaats het onderzoekslaboratorium van Philips in Eindhoven moet worden genoemd.

Scheikundig onderzoek in Nederlands Oost- Indiï[14]

‘Practische scheikunde is langs verschillende wegen naar Java gekomen, niet als weeldevak, doch overeenkomstig de behoeften van het leven, bepaaldelijk in het belang der cultures’, aldus de militaire apotheker Maurits Greshoff (1862-1909), die van 1888-1892 aan 's Lands Plantentuin in Buitenzorg [Bogor] was verbonden.[15] Vijftien jaar later, op 3 augustus 1921, schreef de latere Delftse hoogleraar in de microbiologie Albert Jan Kluyver vanuit Bandoeng, waar hij met de leiding van de N.V. Oliefabrieken was belast, een overzichtsartikel voor het *Chemisch Weekblad* over ‘chemie in Nederlandsch-Indiï’. Het was - zoals te verwachten - vooral toegepast scheikundig onderzoek dat daar werd uitgevoerd en dat vrijwel geheel ‘in dienst [...] van de verschillende landbouw- en nijverheidsondernemingen’ stond.[16] Brandpunten van scheikundig onderzoek waren van ouds de voor de cultures werkende proefstations voor de suikerindustrie en de thee-, koffie-, kina- en rubbercultures. De scheikundigen die daar werkzaam waren, hielden zich bezig met de landbouwkundig-che-



III. De Leidse hoogleraar A.P.N. Franchimont in zijn privélaboratorium met links zijn privé-assistent J.V. Dubský en in het midden de custos J. Dorsman (ca 1910).

mische kant van de betreffende cultuur en met chemisch-technische vraagstukken, die zich bij de bereiding van de verschillende producten voordeden. Hetzelfde gold voor chemici die in dienst waren van de petroleum- en de olie-industrie: zij hielden zich bezig met bedrijfscontrole en met chemisch-technologisch leidinggeven. Theoretische vraagstukken werden meestal door praktische onderzoekingen op de achtergrond gedrongen. De enige plaats in Nederlands-Indië waar de chemie om haar zelfswille wordt beoefend was het Phytochemisch Laboratorium van 's Lands Plantentuin te Buitenzorg.[17] Daar was in 1888 Greshoff benoemd om chemisch-farmacologisch onderzoek te doen naar de plantenstoffen in Indië, in het bijzonder met het oog op hun betekenis voor de geneeskunde. Hij werd de grondlegger van de vergelijkende fytochemie in Indië. Zijn werk werd na zijn terugkeer naar Nederland voortgezet door de farmaceuten Willem Gerbrand Boorsma (1867-1937), die in 1891 in Utrecht bij Hendrik Wefers Bettink (1839-1921) was gepromoveerd, en daarna door de in Groningen opgeleide en in 1896 in Marburg gepromoveerde apotheker Klaas Gorter (1872-1921). Gorter was sinds 1905 in Indië werkzaam als scheikundige op het laboratorium voor onderzoekingen over de koffiecultuur. Vanaf 1911 hield hij zich als hoofd van een nieuw opgericht bacteriologisch laboratorium bezig met onderzoek van rubber. Toen hij in 1917 Boorsma opvolgde als chef van het farmacologisch laboratorium, kon hij zich geheel wijden aan zijn lievelingsvak, de fytochemie. Hij overleed echter al in 1921. Zijn opvolger Arnoldus Johannes Ultée (1878-1964), een promovendus van Pieter van Romburgh in Utrecht, had bijzondere belangstelling voor plantensappen.[18]

Daarnaast was in 1890 door 's Lands Plantentuin in Buitenzorg een landbouwscheikundig laboratorium opgericht, dat tot 1902 onder leiding stond van Van Romburgh. Naast onderzoek van thee en van de grond van de theetuinen, werd er vooral fytochemisch onderzoek verricht. Duizenden planten werden op etherische oliën onderzocht. Onder Van Romburghs opvolger, de in 1900 bij Eduard Mulder in Utrecht gepromoveerde Anne Willem Karel de Jong (1871-1948)[19] richtte de belangstelling van het laboratorium zich meer op handelsgewassen en op landbouwkundig onderzoek. Van groot belang waren de onderzoekingen van Barend Coenraad Petrus Jansen (1884-1962) en Willem Frederik Donath (1889-1957), die op de farmaceutisch-chemische afdeling van het Geneeskundig Laboratorium te Weltevreden het vitamine B_1 uit rijstzemelen in gekristalliseerde vorm wisten te isoleren (1926).

Behalve op 's Lands Plantentuin werden ook scheikundige onderzoekingen verricht op de verschillende proefstations die tegen het einde van de vorige eeuw door de landbouwondernemingen waren opgericht. In 1891 was Hendrik Coenraad Prinsen Geerligs (1864-1953), een leerling van J.H. van 't Hoff en J.W. Gunning, benoemd tot scheikundige op het proefstation voor de Javasuikerindustrie te Kagok in de residentie Tegal, waarvan hij van 1896-1908 directeur was.[20] Op de proefstations voor de tabakscultuur vinden we in het begin van de eeuw verschillende leerlingen van Van 't Hoff en Bakhuis Roozeboom. Zij hielden zich voornamelijk bezig met bodemkundig onderzoek. In 1895 werd Albertus van Bijlert (1864-1925), die in 1891 bij Van 't Hoff was gepromoveerd, als scheikundige op het laboratorium voor onderzoek zoek van Deli-tabak, een afdeling van 's Lands Plantentuin, belast met het onderzoek van Deli-tabak. De kosten werden gedragen door de Deli-Plantersvereniging. Van Bijlert hield zich vooral bezig met chemisch grondonderzoek. Hij keerde in 1900 te-

rug naar Nederland, werd leraar Indische laaglandcultures aan de landbouwschool te Wageningen en nadat deze was omgezet in landbouwhogeschool was hij daar van 1918 tot zijn overlijden in 1925 hoogleraar in de tropische landbouwkunde. In Indië werd hij opgevolgd door David Jacobus Hissink (1874-1956)[21], een promovendus van Bakhuis Roozeboom (1899), die na zijn terugkeer in Nederland (begin 1903) aan verschillende rijkslandbouwproefstations was verbonden. Van 1926 tot zijn pensioen in 1939 was hij directeur van het Bodemkundig Instituut te Groningen. In de korte tijd dat Hissink in Indië werkzaam was, hield hij zich naast bemestingsproeven op de tabaksproefvelden in Deli voornamelijk bezig met bodemkundige onderzoekingen. Op zijn beurt werd Hissink door een andere promovendus van Bakhuis Roozeboom (1897), Eduard Carl Julius Mohr (1873-1970) opgevolgd. De laatste werd al spoedig hoofd van het laboratorium voor agrogeologie en grondonderzoek te Buitenzorg (1906-1920), waar hij zich bezighield met geologische onderzoekingen ten behoeve van de landbouw. Van 1927-1952 was hij vanwege het Indologisch Fonds bijzonder hoogleraar voor bodemkunde en klimatologie in Utrecht.

Voor de rubbercultuur was Otto de Vries (1881-1948) van grote betekenis.[22] Deze oudste zoon van de plantkundige Hugo de Vries (1848-1935) was in 1908 bij A.P.N. Franchimont gepromoveerd[23], in 1909 als scheikundige aangesteld aan het Proefstation voor Tabak te Klaten en in 1912 aan het nieuw opgerichte Algemene Proefstation voor Vorstenlandse Tabak, eveneens te Klaten. Hij hield zich daar voornamelijk bezig met het onderzoek van de grond in de Vorstenlanden, deed bemestingsproeven en bestudeerde de omzettingen in de tabak bij de droging en de fermentatie. In hetzelfde jaar 1912 werd het Centraal Rubber Proefstation te Buitenzorg opgericht, dat na reorganisatie in 1925 omgezet werd in het Proefstation voor de Rubber. In 1915 werd De Vries directeur van dit proefstation, waar hij belangrijke bijdragen leverde tot de vooruitgang van de rubbercultuur en de ontwikkeling van de rubberwetenschap. Nadat hij in 1929 tevens benoemd was tot buitengewoon hoogleraar in de scheikunde aan de Geneeskundige Hogeschool te Batavia, keerde hij al in 1930 naar Nederland terug waar hij hoofddirecteur werd van het Rijkslandbouwproefstation en het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek te Groningen en van 1939 tot zijn pensioen in 1945 directeur was van het Bodemkundig Instituut.

In 1920 constateerde Pieter van Romburgh, dat 'de chemische industrie [...] in onze koloniën nog in de kinderschoenen' stond.[24] Buiten de suikerfabrieken, de kininefabriek en de fabrieken van de petroleumindustrie 'vindt men niet veel eigenlijke chemische industrie in Nederlandsch-Indië'. Deze situatie veranderde voorlopig niet wezenlijk. In ziijn overzicht van 'het chemisch onderzoek in de jaren 1940-1945 op het laboratorium voor scheikundig onderzoek te Buitenzorg' uitgevoerd, schreef C.J. van Hulssen: 'Een deel van [de] werkzaamheden zijn weer, evenals in vroegere jaren, gericht geweest op betere kwaliteits-beoordeeling van exportproducten en door voorlichting te trachten de kwaliteit van deze producten op te voeren. Daarnaast werd gezocht naar nieuwe gewassen, welke mogelijk economisch belangrijke stoffen konden opleveren, terwijl het phytochemische onderzoek van alle mogelijke planten een belangrijke plaats innam'.[25]

Eindnoten:

1 A. Ladenburg, *Die Entwickelung der Chemie in den letzten zwanzig Jahren* (Stuttgart, 1900), p. 1. Algemene overzichten over de geschiedenis van de scheikunde in onze eeuw geven: A.J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry* (New York, 1964) en W.H. Brock, *The Fontana History of Chemistry* (Londen, 1992), met in beide boeken uitgebreide bibliografische essays. Zie ook: C.A. Russell (ed), *Recent Developments in the History of Chemistry* (Londen, 1985)

2 R. Hooykaas, ‘De wet van elementenbehoud’, *Chemisch Weekblad* 43(1947)526-531; J.W. van Spronsen, *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years* (Amsterdam, Londen, New York, 1969), pp. 58-60

3 J.H. van 't Hoff, *Ueber die Entwickelung der exakten Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert und die Betheiligung der deutschen Gelehrten an dieser Entwickelung* (Hamburg, Leipzig, 1900), p. 14

4 A. Baeyer, ‘Über die Verbindungen der Indigogruppe’, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 16(1883)2188-2204 (2188)

5 F. Bickelhaupt, ‘Organische chemie: groei en ontwikkeling in vijftig jaar’, *Chemisch Weekblad*71(1975), nr. 40, pp. 12-15

6 E.F. Armstrong, *Chemistry in the twentieth Century* (Londen, 1924), p. 11

7 Vgl.: J. Schotman, ‘Chemie 1903, een impressie’, *Chemisch Weekblad Magazine* 1979, pp. 351-353

8 H.J. Backer, *Chemisch Weekblad* 49(1953)582-593

9 E. Cohen, ‘Vijftig jaren revolutie’, *Chemisch Weekblad* 36(1939)351-356 (352)

10 W.P. Jorissen, ‘De beoefening der chemie gedurende de laatste 50 jaar’, in: *Pallas Leidensis MCMXXV* (Leiden, 1925), pp. 177-188

11 E.P. van Emmerik, ‘De invloed van Van der Waals op de vacature Bakhuis Roozeboom in 1907’, *Laboratorium Praktijk* augustus 1988, pp. 384-387 en *J.J. van Laar (1868-1938). A mathematical chemist.* Dissertatie Technische Universiteit Delft, 1991

12 A. Smits, *Chemisch Weekblad* 37(1940)430

13 H. Baudet, *De lange weg naar de Technische Universiteit Delft* (Den Haag, 1992), pp. 458-462

14 P. van Romburgh, ‘Chemistry’, in: *Science in the Netherlands East Indies*. Ed. L.M.R. Rutten (Amsterdam, 1929), pp. 255-267; H.J. Hardon, ‘Een eeuw chemisch onderzoek in Indonesië’, in: *Een eeuw natuurwetenschap in Indonesië 1850-1950. Gedenkboek Koninklijke Natuurkundige Vereeniging* (Djakarta, 1950), pp. 209-216. Zie ook: M.J. Sirks, *Indisch natuuronderzoek.* Dissertatie Utrecht 23 maart 1915 en *Science and scientists in the Netherlands Indies.* Ed. P. Honig en F. Verdoorn (New York, 1945)

15 M. Greshoff, ‘Scheikundige arbeid in Nederlandsch-Indië’, *Indische Gids* 28(1906), II, 1489-1495 (1940)

16 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 18(1921)552-557 (552)

17 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 18(1921)556

18 W.G. Boorsma, *Iets over de saponine-achtige bestanddeelen van de zaden der Assamthee*. Dissertatie Utrecht 22 juni 1891; A.J. Ultée, *Bijdrage tot de kennis der cyaanhydrinen*. Dissertatie Utrecht 23 november 1906

19 A.W.K. de Jong, *Inwerking van brandigdruivenzuur op brandigdruivenzuurammonium*. Dissertatie Utrecht 20 maart 1900

20 W.P. Jorissen, ‘In memoriam Dr. Hendrik Coenraad Prinsen Geerligs’, *Chemisch Weekblad* 49(1953)905-908

21 Over Hissink: W. Reinders, *Chemisch Weekblad* 26(1929)582-586; J. van der Spek, *idem* 36(1939)732-737; anoniem, *idem* 50(1954)737-738 en P. Bruin, *idem* 52(1956)121-122

22 Over Otto de Vries: C. Coolhaas, A. van Rossem en P. Bruin, *Chemisch Weekblad* 45(1949)501-513

23 O. de Vries, *Over complexe iridiumverbindingen*. Dissertatie Leiden 28 april 1908

24 P. van Romburgh, ‘Het belang der chemie voor onze koloniën’, *Chemisch Weekblad* 17(1920)206-214 (213). Vgl.: H.C. Prinsen Geerligs, ‘De chemische industrie Nederlandsch-Indië’, *idem* 14(1917)1103-1107

25 C.J. van Hulssen, *Chemisch Weekblad* 42(1946)316-319 (316)

II. De institutionalisering van de scheikunde in Nederland

Inleiding

Over de lotgevallen van de Nederlandse Chemische Vereniging - het predikaat Koninklijk werd haar in 1953 verleend - in de eerste helft van de twintigste eeuw, is bij verschillende gelegenheden uitvoerig geschreven. In het jubileumnummer ter gelegenheid van het 25-jarig bestaan, vinden we het ontstaan en de lotgevallen van de NCV beschreven aan de hand van de herinneringen van alle toen in leven zijnde oudvoorzitters en de toenmalige voorzitter, verschillende oud-secretarissen en de toenmalige secretaris en de hoofdredacteur van het *Chemisch Weekblad* W.P. Jorissen en diens jarenlange medeweker L.Th. Reicher.[1] In 1953 schreef Teunis van der Linden (1888-1965) - die van 1937-1954 secretaris van de vereniging was - een zeer uitvoerig en volledig overzicht van vijftig jaar NCV.[2] Bovendien herinnerde bij tal van gelegenheden Jorissen aan de gebeurtenissen die tot de oprichting van de NCV hebben geleid.

In de feestrede ‘Na vijf-en-twintig jaren’, die S.C.J. Olivier als voorzitter op 17 juli 1928 uitsprak, merkte deze terecht op: ‘ Wie de moeite zich getroost de 25 banden van het Chemisch Weekblad door te bladeren, ziet geheel het maatschappelijk leven zijner tijdgenooten-chemici de revue passeeren, ziet de gansche geschiedenis der Nederlandsche Chemische Vereeniging in al hare bijzonderheden als een rolprent aan hem voorbijgaan’.[3] In zijn rede wees Olivier er nadrukkelijk op dat ‘de gedachten van hem, die geroepen is de fata en gesta der Nederlandsche Chemische Vereeniging te schetsen, [...] onwillekeurig in de eerste plaats naar het Chemisch Jaarboekje, het Chemisch Weekblad en het Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas [gaan], even zoovele getuigen van tastbaren en blijvenden aard van hetgeen eendrachtige samenwerking vermag te bereiken’.[4] Het *Scheikundig Jaarboekje* was een initiatief van W.P. Jorissen en J. Rutten, die in navolging van het sinds 1882 uitgegeven *Geneeskundig Jaarboekje voor Nederland* een *Scheikundig Jaarboekje* wilden samenstellen, dat behalve tabellen en mededelingen een adreslijst van Nederlandse chemici in binnen- en buitenland zou bevatten. De eerste jaargang verscheen in 1899; de vijfde (1903) werd herdoopt als *Chemisch Jaarboekje* en werd ‘tevens Jaarboekje der Nederlandsche Chemische Vereeniging’. Een van de eerste activiteiten van de jonge vereniging was om in plaats van het maandelijkse *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hyiène*, dat onder redactie van Reicher en Jorissen stond, als officieel orgaan van de vereniging een weekblad uit te geven. De laatste bladzijde van het *Tijdschrift* vermeldde dan ook:[5]

L.S.
De ondergeteekende heeft de eer ter kennis te brengen van HH. abonnés op het *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène*, dat dit Tijdschrift niet meer als *Maandblad* zal worden uitgegeven, maar met den nieuwen jaargang, aanvangende 3 October a.s. *onder dezelfde Redactie*, zal verschijnen in
WEKELIJKSCHE AFLEVERINGEN
onder den titel van
CHEMISCH WEEKBLAD.
Dit Weekblad is tevens het officiëel orgaan van de
NEDERLANDSCHE CHEMISCHE VEREENIGING.
De abonnementsprijs per jaargang van 52 afleveringen zal zijn franco per post f 5.20; voor het Buitenland f 6.50.
Amsterdam,
D.B. Centen.

De eerste aflevering van het *Chemisch Weekblad* verscheen op 3 oktober 1903. Tot I januari 1911 bestond de redactie uit Reicher en Jorissen; daarna werd de redactie door laatstgenoemde alleen gevoerd, bijgestaan door een redactiecommissie. In 1920 werd het *Chemisch Weekblad* tevens orgaan van de toen inmiddels opgerichte Vereeniging van de Nederlandsche Chemische Industrie. Vanaf het laatste kwartaal van 1923 tot in de oorlogsjaren had het *Chemisch Weekblad* een chemisch-technisch bijblad: *Chemie en Industrie* (later 'Rubriek voor Handel en Industrie' geheten).

Sedert 1920 geeft de vereniging nog een periodiek uit, het *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas*, dat in 1882 was opgericht omdat ons land toen geen eigen scheikundig tijdschrift bezat. Wie de resultaten van zijn onderzoekingen in bredere kring bekend wilde maken, moest in een buitenlands tijdschrift publiceren, waarvoor vanaf 1867 vooral de *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* en later het *Zeitschrift für physikalische Chemie* in aanmerking kwamen. In 1881 gingen de hoogleraren A.P.N. Franchimont (Leiden), A.C. Oudemans (Delft) en Ed. Mulder (Utrecht) naar Sebastiaan Hoogewerff (1847-1934), toen leraar aan de hogereburgerschool in Rotterdam met de vraag of hij wilde medewerken aan de oprichting van een tijdschrift, waarin oorspronkelijke verhandelingen van Nederlandse chemici zouden worden opgenomen, benevens referaten van onderzoekingen door landgenoten verricht en elders gepubliceerd. Hoogewerf nam de uitnodiging aan onder voorwaarde dat ook zijn vriend, de ambteloze Amsterdamse scheikundige Willem Anne van Dorp (1847-1914) onder de redacteuren zou worden opgenomen. In 1882 verscheen de eerste aflevering van het *Recueil* onder de redactie van de genoemde vijf chemici. Van 1897-1919 breidde het zijn werkgebied uit tot België en had toen als titel: *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas et de la Belgique*. Op initiatief van de toenmalige voorzitter van de Nederlandsche Chemische Vereeniging, H.R. Kruyt, werd het toen financieel noodlijdende *Recueil* in 1920 een uitgave van de vereniging.[6]



IV. Willem Paulinus Jorissen (1869-1959), lector in de anorganische en fysische chemie te Leiden (1908-1940), oprichter van de Nederlandsche Chemische Vereeniging en van 1903 tot zijn pensionering in 1940 hoofdredacteur van het Chemisch Weekblad.

De oprichting van de Nederlandsche Chemische Vereeniging (1903)

Voor de ‘fata en gesta’ van de Nederlandsche Chemische Vereeniging in de eerste halve eeuw van haar bestaan, moge vooral verwezen worden naar bovengenoemd artikel van Van der Linden uit 1953. Het aantal leden van de vereniging nam in deze periode geleidelijk toe: ‘De tijden van economische depressie en economische opgang van Nederland weerspiegelen zich in grote trekken in deze tabel naast de over het gehele tijdperk genomen phenomenalen groei der Vereniging’, aldus Van der Linden.[7] In juni 1903 was een eerste lijst gepubliceerd met 113 leden, in augustus gevolgd door een tweede lijst met 36 namen. De toename van het aantal leden blijkt uit de navolgende tabel:

stand op 1 januari	**aantal leden**
1904	183
1905	225
1910	398
1915	609
1920	841
1925	1106
1930	1478
1935	1606
1940	2090
1945	2301
1950	2833
1953	3470

Het idee een chemische vereniging in ons land op te richten is bij een tweetal vrienden op hun avondwandelingen in Rotterdam eind 1896 - begin 1897 geboren. De een was Willem Paulinus Jorissen (1869-1959), die op 21 oktober 1896 bij Bakhuis Roozeboom in Amsterdam was gepromoveerd en sinds 16 oktober van dat jaar medewerker was geworden op het laboratorium voor scheikundig, microscopisch en bacteriologisch onderzoek van Bonno van Dijken (1866-1900) aan de Oostzeedijk in Rotterdam. De ander was Jan Rutten (1873-1946), die na in 1896 het diploma van

technoloog aan de Polytechnische School in Delft te hebben behaald als scheikundige bij de Centrale Guanofabrieken aan het Kralingse Veer in Rotterdam was benoemd.[8] Begin augustus 1898 vertrok hij naar Amsterdam als scheikundige bij de Gemeentelijke Gasfabrieken; in 1900 verruilde hij deze functie voor die van chemicus bij de gasfabrieken in Den Haag. Jorissen verliet in september 1900 de Maasstad en werd leraar scheikunde en analytische meetkunde aan het Koninklijk Instituut voor de Marine in Willemsoord (Den Helder) en in 1902 tevens privaatdocent voor technische en fysische scheikunde aan de Leidse universiteit. De discussie over de oprichting van een chemische vereniging in ons land werd toen vooral gevoerd in het in 1897 door Van Dijken opgerichte *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène*.[9] In augustus 1902 gaf Rutten in een korte uiteenzetting als taak van een te stichten chemische vereniging: 'het tezamenbrengen van alle Nederlandsche scheikundigen, in welke richting zij zich ook bewegen mogen, omdat er nog geen enkelen band tusschen hen bestaat en die band noodig is en o.a. ten goede zal komen aan de chemische nijverheid, die in ons land nog tot ontwikkeling moet gebracht worden'.[10] Rutten wees op Duitsland waar de chemische industrie juist veel te danken had aan de in 1867 opgerichte *Deutsche Chemische Gesellschaft*. Eind 1902 publiceerden Jorissen, Reicher en Rutten 'de grondbeginselen [...], volgens welke naar onze meening de Nederlandsche Chemische Vereeniging kan worden opgebouwd'[11]:

'1. De Vereeniging stelt zich ten doel de belangen der Nederlandsche chemici, hier te lande, in de Koloniën en in den vreemde te behartigen en hare belangstelling te wijden aan den bloei en de ontwikkeling der chemie en der Nederlandsche chemische en aanverwante nijverheid.
2. Zij tracht dit doel te bereiken door:
    a. het houden van bijeenkomsten (algemeene en afdeelingsvergaderingen);
    b. het uitschrijven van excursies zoowel in als buiten Nederland;
    c. het uitschrijven van prijsvragen;
    d. het geldelijk steunen van onderzoekers;
    e. het stichten van een permanent bureau van consultatie;
    f. het tegengaan van oneerlijke concurrentie, voor zoover deze de belangen van hare leden kan schaden;
    g. het uitgeven van een Tijdschrift;
    h. het stichten van plaatselijke en arrondissements-afdeelingen met daaraan verbonden leesgezelschappen;
    i. het afsluiten van een contract met één of meerdere bekende maatschappijen, waardoor het den leden mogelijk gemaakt zal worden toe te treden tot een gemeenschappelijke ongevallenverzekering;
    j. het tot stand brengen van een bibliotheek, voor zoover de middelen dit zullen toelaten;
    k. te trachten haar invloed bij de Regeering aan te wenden, tot herziening van wetten, die belemmerend werken op het chemisch en daarmee verband houdend onderwijs, alsook van die, welke de ontwikkeling van de chemische en aanverwante nijverheid hier te lande en in de Koloniën in den weg staan.'

Lodewijk Theodorus Reicher (1857-1943), die in 1883 bij Van 't Hoff was gepromoveerd, was sinds 1893 chemicus-botanicus bij de Gemeentelijke Gezondheidsdienst in Amsterdam en chef van het daarbij behorende scheikundig laboratorium. Hij was met Jorissen, met de Amsterdamse apotheker, bacterioloog en scheikundige Bernardus Adrianus van Ketel (1862-1928) en met Hendrik Coenraad Prinsen Geerligs (1864-1953), directeur van het Proefstation van suikerriet in West-Java te Kagok (Tegal), redactielid van het *Scheikundig Jaarboekje*. Jorissen, Reicher en Rutten zonden hun ideeën over een op te richten chemische vereniging toe aan alle hoogleraren in de scheikunde en de farmacie aan onze universiteiten en de Polytechnische School te Delft, die op twee na allemaal reageerden. 'Uit de antwoorden bleek ons, dat *in het algemeen* bij onze professoren sympathie voor het plan bestaat'.[12]

Op 15 april 1903 werd tijdens de bijeenkomst van het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres in Den Haag onder voorzitterschap van Jorissen in een tweetal vergaderingen besloten tot de oprichting van een 'Algemeene Nederlandsche Chemische Vereeniging'. Er werd een voorlopige raad van bestuur gekozen, die op 23 mei 1903 de 'Concept-statuten van de Algemeene Nederlandsche Chemische Vereeniging' vaststelde.[13] Op de eerste algemene vergadering op 4 juli 1903 in het chemisch laboratorium van de Utrechtse universiteit aan het Sterrenbos gehouden, werd het voorlopig bestuur tot definitief algemeen bestuur gekozen. Het bestond uit de volgende personen[14]:

Herman Baucke (1871-1952), scheikundig technoloog (afgestudeerd aan de Polytechnische School te Delft) en firmant van het 'Proefstation voor bouwmaterialen en bureau voor chemisch onderzoek Koning & Bienfait' te Amsterdam.

dr. *Ernst Cohen* (1869-1944), hoogleraar fysische chemie te Utrecht.

mej. *Alide Grutterink* (1869-1927), apotheker aan het Coolsingelziekenhuis te Rotterdam.[15]

Jan Justus Hofman (1866-1942), apotheker in Den Haag.

dr. *Willem Paulinus Jorissen* (1869-1959), leraar Koninklijk Instituut voor de Marine in Den Helder en privaatdocent voor technische en fysische chemie te Leiden.

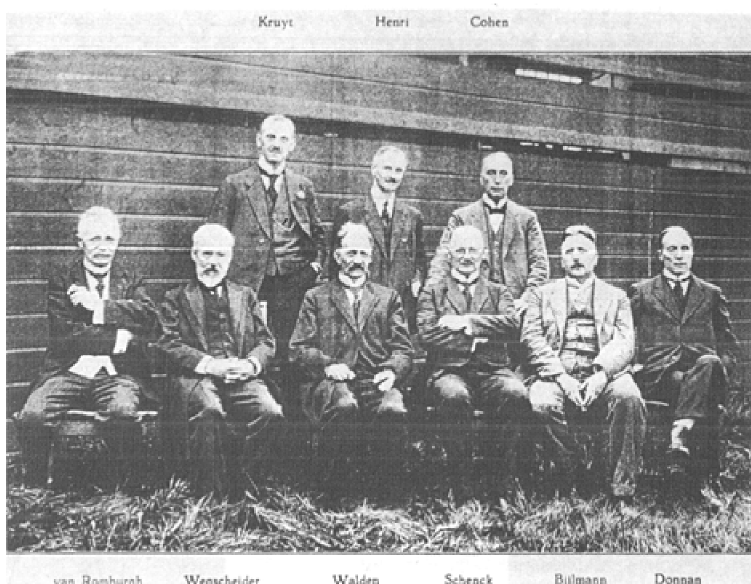
dr. *Lodewijk Theodorus Reicher* (1857-1943), chemicus-botanicus bij de Gemeentelijke Gezondheidsdienst en chef van het scheikundig laboratorium in Amsterdam en privaatdocent in de analytische chemie aan de Gemeentelijke Universiteit.

Johannes Rutten (1873-1946), scheikundig technoloog (afgestudeerd aan de Polytechnische School te Delft), ingenieur bij het gemeentelijk gasbedrijf in Den Haag.

dr. *Franciscus Antonius Hubertus Schreinemakers* (1864-1945), hoogleraar anorganische en fysische chemie te Leiden.

Alexander Vosmaer (1866-1944), technoloog te De Bilt, directeur elektrotechnisch laboratorium en directeur van de 'Ozon-Maatschappij systeem A. Vosmaer' te Amsterdam.

Het dagelijks bestuur bestond uit Cohen (voorzitter), Rutten (secretaris) en Grutterink (penningmeesteresse).[16] Op de eerste algemene vergadering werden de definitieve statuten vastgesteld. Op voorstel van Gerrit Hondius Boldingh, lid van de firma



V. Deelnemers aan de internationale chemische bijeenkomst in Utrecht op 23 en 24 juni 1921 met het doel de internationale betrekkingen tussen de chemici, die door de Eerste Wereldoorlog waren verbroken, te herstellen.

'Scheikundig Laboratorium van Boldingh en Van der Heide' in Amsterdam en directeur van de Hollandsche Melksuikerfabriek te Uitgeest, werd de naam van de vereniging veranderd in *Nederlandsche Chemische Vereeniging*. 'De Vereeniging stelt zich ten doel de belangen van hare Leden te behartigen en hare belangstelling te wijden aan den bloei en de ontwikkeling der Chemie en der Nederlandsche en Nederlandsch-Indische chemische en aanverwante Nijverheid', aldus het derde artikel van de bij Koninklijk Besluit van 22 augustus 1903, nr. 52 goedgekeurde statuten.

'Zij tracht dit doel langs wettige weg te bereiken door de volgende middelen:

1°. het houden van vergaderingen ter bespreking van theoretisch- en technisch-chemische onderwerpen en van de belangen van de Vereeniging en hare Leden;
2°. het uitgeven, doen uitgeven of het steunen van de uitgave van een Tijdschrift, dat het officiëele orgaan der Vereeniging zal worden;
3°. het stichten van een bureau voor consultatie;
4°. het, zoo mogelijk, vormen van afdeelingen met daaraan verbonden leesgezelschappen;
5°. te trachten haren invloed bij de Regeering aan te wenden in zaken, die de Vereeniging of de belangen harer leden betreffen;
6°. het, zoo mogelijk, afsluiten van contracten met één of meer maatschappijen, waardoor de Leden zullen kunnen toetreden tot eene gemeenschappelijke levens-, werkkracht- en ongevallenverzekering;
7°. het geldelijk steunen van chemisch onderzoek;
8°. het uitschrijven van excursies;
9°. het, zoo nodig, vaststellen van onderzoekingsmethoden en van een tarief van onderzoekingen;
10°. het bevorderen van vacantie-cursussen;
11°. het samenwerken met andere lichamen of vereenigingen, waar zij in dezelfde richting werken;
12°. alle verdere wettige en gepaste middelen.'

Men zou zich kunnen afvragen waarom de NCV zich Nederlandsche *Chemische* Vereeniging, en niet Nederlandsche *Scheikundige* Vereeniging heeft genoemd. De eerste voorzitter Ernst Cohen heeft deze keus op de eerste algemene vergadering van de vereniging als volgt verdedigd: 'Nederlandsche *Chemische*, niet *Scheikundige* Vereeniging hebben wij onze Vereeniging genoemd. Het zij mij vergund voor de puristen onder u, die wellicht liever het woord *Chemisch* door een zuiver Nederlandsch woord in den naam eener Nederlandsche Vereeniging zouden vervangen zien, hier datgene te herhalen, wat ik eenigen tijd geleden op een andere plaats omtrent de benamingen *Chemie* en *Scheikunde* heb gezegd. "Wanneer ik mij van den naam *Chemie* en niet van den Hollandschen naam, die veelal aan onze wetenschap wordt gegeven, *Scheikunde*, bedien, zoo vindt zulks zijn grond daarin, dat er m.i. inderdaad niet onbelangrijke voordeelen aan het gebruik van de uitheemsche benaming verbonden zijn. Immers, terwijl *Chemie* niets anders beduidt dan "Wetenschap van het land χημία," Egyptische wetenschap, en m.a.w. slechts de plaats van oorsprong aangeeft en dus een ruime speling in hare nadere definitie toelaat, sluit de Hollandsche naam

eene beperking in, die, naarmate de ontwikkeling van dezen tak der natuurwetenschap voortschrijdt, deze benaming steeds minder juist doet worden"'.[17]

De Vereeniging voor de Nederlandsche Chemische Industrie (1918)

Het was vooral Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959), die zich tijdens zijn voorzitterschap van de Nederlandsche Chemische Vereeniging (1918-1920) sterk heeft ingezet voor aandacht 'aan den bloei en de ontwikkeling der Chemie en der Nederlandsche en Nederlandsch-Indische chemische en aanverwante Nijverheid' [artikel 3 van de statuten]. In 1928 schreef hij: 'Toen ik voorzitter werd stond voor mij vast, dat er drie dingen urgent zouden zijn. Ten eerste moest in de vereeniging zelf een aantal dingen veranderd worden. In de tweede plaats moest veel nauwer contact met de chemische industrie gezocht worden en in de derde plaats hoopten wij te kunnen ingrijpen in de internationale wetenschappelijke verhoudingen, zoodra de oorlog ten einde zou zijn'.[18]

Op de algemene vergadering van de NCV op 3 en 4 april 1918 in Deventer, opende Kruyt de vergadering met een rede: 'Samenwerking van wetenschap en industrie in Nederland'. Hoewel ons land 'een bloeiend wetenschappelijk leven en een goed onderwijssysteem' bezat, was dit toch 'niet hand in hand gegaan met een krachtig zich ontwikkelende chemische industrie'.[19] Door de bemoeiingen van de directeur van de Koninklijke Nederlandsche Gist- en Spiritusfabriek in Delft, de technoloog François Gerard Waller (1860-1935)[20], had een aantal industrieën een bedrag van fl 22500.-, in 1919 gevolgd door een tweede bedrag van fl 4000.- ter beschikking gesteld van de NCV om deze in staat te stellen haar werkzaamheden de komende vijf jaar te kunnen uitbreiden. Met dit geld werd onder meer het *Chemisch Weekblad* uitgebreid met een economische rubriek en het *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* onder auspiciën van de NCV gebracht.[21] In 1918 nam jhr. mr. Sebastiaan Mattheus Sigismund van Panhuys (1883-1918), directeur van de Maatschappij tot Bereiding van Koolteerproducten in Krimpen aan de Lek, het initiatief tot de oprichting van een vereniging voor de chemische industrie. Een belangrijke reden voor dit initiatief was dat een aantal directeuren van chemische bedrijven van mening waren dat de aanvoer van grondstoffen beter gezamenlijk plaats kon vinden. Ze wilden zich bovendien teweerstellen tegen de toen groeiende overheidsinvloed op industrieel gebied onder druk van de oorlogsomstandigheden. In de zomer van 1918 hield Van Panhuys met Willen Anne van Dorp jr. (1882-1970), directeur van de N.V. Chemische Fabriek 'Naarden' en Waller een bespreking met Kruyt, waaruit de Vereeniging voor de Nederlandsche Chemische Industrie is ontstaan.[22] De ook door Kruyt gewenste samenwerking tussen wetenschap en industrie stond daarbij op de voorgrond. Op 17 mei 1918 werd de VNCI in aanwezigheid van vertegenwoordigers van dertig belangrijke chemische en farmaceutische bedrijven opgericht; op 5 oktober van dat jaar het eerste definitieve bestuur ingesteld. Panhuys was toen al tijdens de griepepidemie, die in ons land heerste, overleden. Voorzitter werd Gerrit Hondius Boldingh (1865-1936), vice-voorzitter Johannes Ketjen (1868-1938), directeur van de Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding v/h G.T. Ketjen & Co te Amsterdam, penningmeester Wilhelm Sieger (1886-1958), directeur van de Amsterdamsche Chininefabriek, en lid W.A.

van Dorp jr. Kruyt kwam namens de NCV als lid in het bestuur. Het jaar 1918 begon met drieëntwintig leden. In de loop van dat jaar kwamen er achttien bij en vlak voor de Tweede Wereldoorlog telde de VNCI tweeënnegentig leden.

Het beroepsperspectief van de studenten scheikunde

Vanaf haar oprichting heeft de Nederlandse Chemische Vereniging altijd een actieve belangstelling getoond in de economische en de sociale positie van haar leden.[23] De toekomstmogelijkheden voor afgestudeerde universitaire chemici waren in het begin van de eeuw uiterst beperkt. Chemische industrie zoals wij die thans kennen was er niet. De Bataafsche Petroleum Maatschappij nam vooral chemische ingenieurs aan, bestemd voor uitzending naar overzee. Voor afgestudeerden van de universiteiten bleef het middelbaar onderwijs of een betrekking aan een landbouwproefstation of een keuringsdienst van waren over.[24]

Al in 1901 schreef Jorissen een artikel over 'de vooruitzichten onzer aanstaande scheikundigen'.[25] Hij wees daarin op het pessimisme van de Amsterdamse hoogleraar in de organische scheikunde C.A. Lobry de Bruyn over de vooruitzichten van de ongeveer honderd studenten en promovendi in de chemie aan onze universiteiten en van de vierentachtig studenten die in Delft als technoloog waren ingeschreven. Lobry de Bruyn meende dat het voor ons land en voor Nederlands-Indië onmogelijk was om over vier tot vijf jaar aan ruim tweehonderd chemici een werkkring te verschaffen. In zijn reactie wees Jorissen erop dat apothekers ook 'kunnen [...] optreden en [...] reeds op [traden] als concurrenten van doctoren in de scheikunde en technologen' en dat de 'scheikundigen, die niet aan een onzer universiteiten of eene buitenlandsche universiteit of aan de Polytechnische School te Delft studeerden, doch hetzij aan buitenlandsche polytechnikums, hetzij aan inrichtingen als de "Machinistenschool" en de "School voor Suikerindustrie" (firma Boldingh en Van der Heide) te Amsterdam of het "Chemisch Instituut" van Dr. Vriens te Rotterdam hunne opleiding ontvingen', als scheikundige aan suiker- en andere fabrieken, aan Rijkslandbouw-proefstations en aan particuliere laboratoria een betrekking vonden. 'Is nu de toekomst voor onze doctoren in de scheikunde zoo donker?' Voor het middelbaar onderwijs zijn en blijven ze de aangewezen personen en 'ook in fabrieken en laboratoria zullen zij, als goed theoretisch onderlegde scheikundigen, zeer zeker hunnen weg vinden naast technologen en anderen'. Jorissen verwachtte dat evenals in Duitsland en Engeland ook in ons land bij fabrikanten de mening zou doordringen dat men vooral praktisch opgeleid personeel nodig had. Het probleem was echter dat men niet weten kon 'welke vlucht de chemische industrie hier te lande nemen zal. Er is vooruitgang, hoewel geen zeer groote', meende Jorissen.

Enige jaren later, op 15 maart 1909, hield G. Hondius Boldingh bij de aanvaarding van het hoogleraarsambt in de analytische en farmaceutische scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam een oratie, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, waarin hij vaststelde 'dat er bij het onderwijs in de natuurkundige wetenschappen aan de universiteiten te weinig rekening gehouden wordt

met de toekomst der leerlingen'.[26] Het doel van dat onderwijs is de studie van de natuurwetenschappen als zodanig, zonder praktische toepassingen. Hondius Boldingh vond dat men aan de universiteit een onderscheid moest maken tussen 'het beoefenen der wetenschap, het geven van onderwijs ter voorbereiding van hen, die de wetenschap als zoodanig zullen beoefenen en het geven van onderwijs aan hen, die de wetenschap zullen toepassen in de maatschappij'.[27] Het laatste werd, wat de scheikunde betreft, in hoge mate verwaarloosd en omvatte precies de leeropdracht die Hondius Boldingh had aanvaard, namelijk 'onderwijs in de toegepaste scheikunde, aan de pharmaceuten krachtens de gewoonte, aan de chemici, omdat het noodig is'.[28] Die verwaarlozing bleek duidelijk uit de feiten. In de periode 1881 (toen de eerste promoties volgens de nieuwe wet op het hoger onderwijs van 1876 plaats vonden) tot 1907 waren er in Groningen tien, in Utrecht negentien, in Leiden drieëntwintig en in Amsterdam zesenvijftig scheikundigen gepromoveerd. In totaal dus 108 gepromoveerden in zevenentwintig jaren aan vier universiteiten, dat wil zeggen één per jaar en per universiteit! Ging Hondius Boldingh na wat er van die 108 gepromoveerde chemici was geworden, dan bleken er dertien bij het hoger onderwijs en zevenenveertig bij het middelbaar en gymnasiaal onderwijs een betrekking te hebben, zevenentwintig waren werkzaam als analyticus en veertien in de industrie, terwijl er zeven zonder vaste positie waren. De conclusie was duidelijk: 'Door den aard van haar onderwijs levert de universiteit bijna uitsluitend mannen af, die zich geschikt voelen voor onderwijs en analyse, niet voor technische toepassing van hun wetenschap'.[29] Deze situstie stond in scherp contrast tot de technologen die in Delft werden opgeleid, die 'ook altijd bevoegdheid gehad [hebben] tot het geven van onderwijs, maar de allermeesten zijn toch geen leeraar geworden', en dat niet omdat ze er niet geschikt voor waren.[30] Volgens Hondius Boldingh werden 'de meeste gepromoveerde chemici leeraar [...], omdat er gemiddeld voor hen niets beter te bereiken is'.[31] De universiteit bekommerde zich daar niet voldoende om, omdat voor haar de zuivere wetenschap het voornaamste was. Hondius Boldingh pleitte er dan ook voor het hoger onderwijs te hervormen, zonder 'ook maar met een enkel woord te willen afdingen op de hooge wetenschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in de natuurwetenschappen, ook al trek ik de direkte maatschappelijke waarde voor de leerlingen der Universiteit in twijfel'.[32]

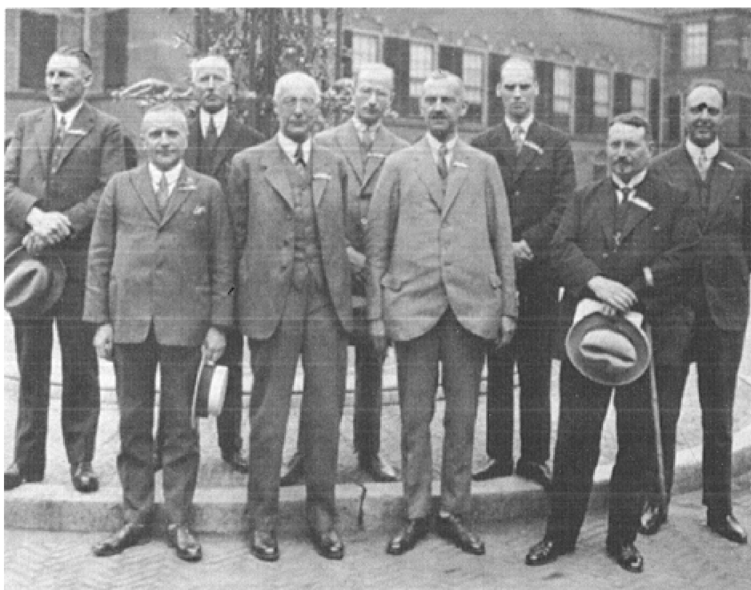
Een kwart eeuw later werd op initiatief van het 'Nederlandsch Comité van de International Student Service' in oktober 1933 een commissie ingesteld 'ter bestudeering van de toenemende bevolking van universiteiten en hoogeschoolen en de werkgelegenheid voor academisch gevormden'. De commissie die zich met de scheikunde bezighield, bestond uit Kruyt (voorzitter), Jorissen (als vertegenwoordiger van de Nederlandse Chemische Vereniging) en J.Th.G. Overbeek (toen een van Kruyts assistenten).[33]

Uit dit in 1936 gepubliceerde rapport blijkt dat in het begin van 1935 het totaal aantal in ons land opgeleide chemici in Nederland, Nederlands-Indië en het buitenland ongeveer 1950 bedroeg, waarvan ruim 800 aan universiteiten gevormde scheikundigen en 1150 technologen. Opvallend is de numerieke verhouding tussen de scheikundige ingenieurs en de universitair gevormde chemici. In 1913 werkten er in ons land vrijwel evenveel scheikundige ingenieurs als universitaire chemici (namelijk 220); tien jaar later, in 1923, overtroffen de technologen de universitaire chemici

met niet minder dan 50% (448 respectievelijk 299). Daarna lopen de aantallen weer enigszins naar elkaar toe en bedroegen in 1934: 654 ingenieurs en 534 universitair gevormde chemici.

De oorzaak hiervan moeten we zoeken in de invloed van de wet-Limburg van 1917. Tot dat jaar moest men voor een universitaire studie het diploma gymnasium β bezitten, dan wel - indien men de vijfjarige hogereburgerschool B met goed gevolg had doorlopen - een aanvullend staatsexamen in Latijn en Grieks afleggen. Alleen voor de studie aan de Technische Hogeschool in Delft was het diploma van de vijfjarige hogereburgerschool B voldoende. Nog op 20 mei 1916 sprak de nieuwe hoogleraar in de organische scheikunde aan de Groningse universiteit, H.J. Backer, in zijn inaugurele oratie de 'studenten der chemie' toe met de constatering dat zich ieder jaar in Delft negenenvijftig studenten voor de scheikundestudie lieten inschrijven, maar dat dat voor iedere universiteit in een heel jaar slechts tweeënhalve student bedroeg. 'De regeling van het voorbereidend onderwijs heeft een leegvloeing der Universiteiten en een overstrooming der Technische Hoogeschool ten gevolge, tot schade van beide'. Backer sprak de wens uit dat de regering spoedig 'de Hoogerburgerscholieren, bezield met lust tot universitaire studie, één of twee jaar van hun leven schenken, door verwijdering van het nuttelooze "struikelblok", dat den naam draagt van staatsexamen'.[34] De wet-Limburg bepaalde dat men ook met een eindexamen vijfjarige hogereburgerschool B aan een universiteit kon worden toegelaten en dat leidde na 1917 tot een grote stijging van het aantal studenten in de scheikunde aan de universiteiten, een stijging die na 1928 merkbaar werd in het totaal aantal universitaire gevormde chemici[35]:

per 1 jan.	**dr/drs**	**ir**	**totaal**
1898	124	97	221
1908	219	215	434
1913	250	319	569
1918	292	442	734
1923	366	647	1013
1928	450	929	1379
1930	533	966	1499
1932	669	1020	1689
1934	757	1100	1857
1935	812	ca 1150	ca 1950



VI. De Nederlandse deligatie tijdens de negende conferentie van de Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée op het Binnenhof in Den Haag (juli 1928). Op de voorste rij van links naar rechts: dr. G.L. Voerman, mr. dr. J. Alingh Prins, prof. dr. H.R. Kruyt en prof. dr. ir. P.E. Verkade. Op de achterste rij van links naar rechts: dr. A.L.Th. Moesveld, dr. W.P. Jorissen, dr. W. Meyer en dr. H.Ph. Baudet.

De chemische internationale verhoudingen na de Eerste Wereldoorlog

Nederlandse chemici hebben ook een niet onbelangrijke rol gespeeld in de regeling van de internationale verhoudingen na de Eerste Wereldoorlog.[36] ‘Onmiddellijk na den oorlog bleek toch de verwijdering tusschen de geleerden uit de oorlogvoerende landen zoo ver te zijn, dat de bitterheid niet gemakkelijk zou zijn weg te nemen’, aldus Kruyt in 1928.[37] In 1919 werd door de chemische verenigingen in de landen van de geallieerden de *Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée* opgericht. De centrale mogendheden werden hierbij uitgesloten; de neutrale landen werden uitgenodigd lid te worden. De *Union* kwam in de plaats van de op 25 april 1911 door de Deutsche Chemische Gesellschaft, de Chemical Society of London en de Société Chimique de France in Parijs opgerichte *Association Internationale des Sociétés Chimiques*. De Nederlandse Chemische Vereniging was kort na de oprichting tot de *Association* toegetreden (14 juli 1911), maar het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog in augustus 1914 legde de werkzaamheden van de *Association* uiteraard geheel stil. Na de oorlog werd de *Association* ontbonden en de *Union* opgericht, waar de NCV na enige aarzeling in 1920 lid van werd.[38]

In de daaropvolgende jaren heeft de NCV veel moeite gedaan de geleerden van de voormalige oorlogvoerende landen weer bij elkaar te brengen. Een eerste stap in het proces van het herstel van de internationale samenwerking was een initiatief van de Utrechtse hoogleraren Ernst Cohen, Hugo Rudolph Kruyt en Pieter van Romburgh ‘alvast *personen* uit verschillende landen samen te brengen en wij hebben toen dat merkwaardige congresje van 1922 te Utrecht gehad, waarbij collega's uit een aantal van de vroeger oorlogvoerende landen bijeen waren’, schreef Kruyt in 1928.[39] Vooral Cohen probeerde de internationale betrekkingen tussen de chemici, welke door de oorlog waren verbroken, te herstellen. Op 23 en 24 juni 1921 nodigden Cohen, Kruyt en Van Romburgh een aantal chemici uit Denemarken (E. Biilmann), Italië (G. Bruni), Engeland (F.G. Donnan), Zwitserland (V. Henri), Duitsland (R. Schenck en P. Walden) en Oostenrijk (R. Wegscheider) uit om de mogelijkheden van internationale samenwerking op het gebied van de chemie te bespreken. Men kwam niet verder dan tot het besluit wetenschappelijke publikaties uit te wisselen[40]. Wel leidde het initiatief tot een succesvolle internationale wetenschappelijke bijeenkomst in Utrecht van 21-24 juni 1922, welke werd bijgewoond door een veertigtal chemici uit zowel geallieerde, neutrale als centrale landen, met uitzondering echter van Frankrijk en België.[41] Uiteindelijk leidde dit er toe, dat in 1926 ook de chemische verenigingen van de centrale mogendheden zich bij de *Union* konden aansluiten.

De Tweede Wereldoorlog

De activiteiten van de Nederlandse chemische gemeenschap gedurende de Tweede Wereldoorlog kwam uiteraard sterk onder druk te staan. Op 2 mei 1940 riep het Algemeen Bestuur de leden op[42]:

Onze taak!
In deze droevige en moeilijke omstandigheden rust op ons allen één plicht: onze organisatie in stand te houden. Onze werklooze leden moeten geholpen worden, onze tijdschriften moeten verschijnen, het dagelijksch werk moet voortgang vinden. Daartoe roepen wij U allen op om met verdubbelde kracht ons te steunen. Aldus wordt tevens op de beste wijze ons vaderland gediend.
Het Algemeen Bestuur der
Ned. Chem. Vereeniging,
J. Alingh Prins, voorzitter,
T. van der Linden, secretaris

Spoedig verschenen in het *Chemisch Weekblad* de namen van gevallen leden. Het verslag van de algemene vergadering, op 25 en 26 juli 1940 te Utrecht gehouden, vermeldt: 'in den strijd voor het vaderland gevallen: dr. P. van Campen, dr. ir. P.J. Denekamp en dr. J. Postma'.[43] Gedurende de oorlog zouden nog vele leden van de NCV volgen. Onder de joodse leden die door de Duitsers werden omgebracht, zijn de bekendsten Lodewijk Theodorus Reicher, die op 17 april 1943, een dag na zijn zesentachtigste verjaardag, werd weggevoerd en via Westerbork begin mei 1943 in Auschwitz is vermoord[44] en Ernst Cohen die hetzelfde lot vermoedelijk op 5 maart 1944 onderging.[45]

De oorlog had ook invloed op het *Chemisch Weekblad*. Op 8 mei 1943 verscheen daarvan het laatste nummer. Een week later, 15 mei, besloot het Algemeen Bestuur de uitgave van het *Chemisch Weekblad* te staken omdat de bezetter de redactie opdracht gegeven had in het tijdschrift een oproep te plaatsen tot dienstneming in de Waffen SS of de Nederlandse Landwacht.[46] Pas op 4 augustus 1945 zou het volgende nummer van het *Chemisch Weekblad* verschijnen, waarin al spoedig de namen van omgekomen leden werden afgedrukt, als eerste: 'Op 26 Februari 1945 is in het concentratiekamp Auschwitz op 56-jarigen leeftijd overleden Dr. Z.P. Polak, oud-scheikundige der B.P.M., lid der Nederlandsche Chemische Vereeniging'.[47] Spoedig werd een zuiveringscommissie ingesteld, waarvan de leden prof. dr. ir. J. Coops (Vrije Universiteit Amsterdam), ir. F. Donker Duyvis ('s Gravenhage) en prof. dr. H.J.C. Tendeloo (Wageningen) deel van uitmaakten.

Eindnoten:

1 *Chemisch Weekblad* 25(1928)322-376
2 T. van der Linden, *Chemisch Weekblad* 49(1953)519-566. Over Van der Linden:*idem* 51(1955)259-265 en 62 (1965)213-214
3 S.C.J. Olivier, *Chemisch Weekblad* 25(1928)323-329 (325)
4 S.C.J. Olivier, *Chemisch Weekblad* 25(1928)324
5 *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 6(1902-1903)384
6 A.F. Holleman, W.P. Jorissen. *Chemisch Weekblad* 29(1932)270-272; J.W. van Spronsen, *Chemisch Magazine*, januari 1981, pp. 30-32
7 T. van der Linden, *Chemisch Weekblad* 49(1953)422
8 W.P. Jorissen, 'Enige herinneringen aan de oprichting van de Nederlandsche Chemische Vereniging voor 50 jaren (15 April 1903)', *Chemisch Weekblad* 49(1953)253-255. Herdrukt in *Chemisch Weekblad* van april 1978, pp. 197-199. Zie ook: H. Baucke, *Chemisch Weekblad*

5(1908)295-299; L.Th. Reicher, *idem* 18(1921)592-597; W.P. Jorissen, *idem* 20(1923)510-511 en L.Th. Reicher, *idem* 25(1928)344-347

9 H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 169-172

10 J. Rutten, *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 5(1901-1902)380

11 *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 6(1902-1903)65-68

12 *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 6(1902-1903)68

13 *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 6(1902-1903)316-320

14 Voor levensbijzonderheden over de oprichters en de eerste bestuursleden van de NCV, zie: Baucke in *Chemisch Weekblad* 49(1953)629-631; Cohen in *Chemisch Weekblad* 15(1918)1404-1451; 24(1927)474-489; 36(1939)515-519; 41(1945)126-128 en *Biografisch Woordenboek van Nederland* ('s Gravenhage, 1979), deel I, pp. 114-115; Grutterink in *Chemisch Weekblad* 24(1927)75, 87-88 en 98; Hofman in *Chemisch Weekblad* 24(1927)379 en 39(1942)27; Jorissen in *Chemisch Weekblad* 18(1921)591-610; 30(1933)614-618; 36(1939)845-855; 37(1940)410-412; 55(1959)589 en *Biografisch Woordenboek van Nederland* (Amsterdam, 1985), deel II, pp. 268-269; Reicher in *Chemisch Weekblad* 5(1908)517-526; 30(1933)524-526 en 42(1946)90-91; Rutten in *Chemisch Weekblad* 20(1923)509-512; 36(1939)781-782 en 42(1946)282-284; Schreinemakers in *Chemisch Weekblad* 20(1923)370-371; 23(1926)425-427; 31(1934)438-439 en *Biografisch Woordenboek van Nederland* (Amsterdam, 1985) deel II, pp. 505-506; Vosmaer in *Chemisch Weekblad* 42(1946)371-373

15 Alide Grutterink was een van de eerste vrouwelijke apothekers die in ons land de praktijk uitoefende. Ze had in Leiden en Utrecht gestudeerd en zou in 1910 in Bern promoveren.

16 Zie notulen in *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 6(1902-1903)370-379

17 E. Cohen, *Chemisch Weekblad* 1(1903)2. Cohen verwijst naar zijn oratie *Uitersten op het gebied der algemeene of physische chemie* (Amsterdam, 1901), p. 8

18 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 25(1928)342

19 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)418-426 (421)

20 Zie over Waller: *Chemisch Weekblad* 22(1925)241-242 en 32(1935)514-517

21 Vgl.: G. Somsen, ‘Hooge School en Maatschappij. H.R. Kruyt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving’, *Gewina. Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 17(1994)162-176 (166-167)

22 *Chemisch Weekblad* 64(1968), nr. 20, pp. 7-9; *NCl. Orgaan van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie* 35(1993), nr. I, i.h.b. pp. 4-15

23 A. Rip en E. Boeker, ‘Scientists and social responsibility in the Netherlands’, *Social Studies of Science* 5(1975)457-484

24 J. Hoekstra, P. Schut en J.P. Wibaut, ‘De chemische opleiding in de laatste 50 jaar’, *Chemisch Weekblad* 49(1953)567-577 (570)

25 W.P. Jorissen, *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 5(1901-1902)46-48

26 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde* (Hoorn, 1909), p. 4

27 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 6

28 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 7

29 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 11

30 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 13

31 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 14

32 G. Hondius Boldingh, *De maatschappelijke waarde van ons Hooger Onderwijs in Scheikunde*, p. 20

33 *De Toekomst der Academisch Gegradueerden. Rapport van de commissie ter bestudeering van de toenemende bevolking van universiteiten en hoogeschoolen en de werkgelegenheid voor academisch gevormden* (Groningen, Batavia, 1936), pp. 168-195

34 H.J. Backer, *Macht en idealen der organische chemie* (Groningen, Den Haag, 1916), p. 24

35 *De Toekomst der Academisch Gegradueerden*, p. 170

36 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 25(1928)342-344 (343); T. van der Linden, *idem* 49(1953)553

37 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 25(1928) 343

38 *Chemisch Weekblad* 17(1920)330. Vgl.: R. Fennell, *History of IUPAC 1919-1987* (Oxford, 1994)

39 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 25(1928)344

40 *Chemisch Weekblad* 18(1921)427

41 W.P. Jorissen, *Chemisch Weekblad* 19(1922)418-425; E. Cohen, *idem* 30(1933)424-425 en 36(1939)355-356; H.A.M. Snelders, ‘De natuurwetenschappen in het interbellum’, in: *Berlijn-Amsterdam 1920-1940. Wisselwerkingen* (Amsterdam, 1982), pp. 68-75 en 367

42 *Chemisch Weekblad* 37(1940)281 [nummer van 25 mei]

43 *Chemisch Weekblad* 37(1940)543. Pieter van Campen (1900-1940), chemicus bij de Hollandsche Metallurgische Bedrijven te Arnhem, was op 23 juni 1930 in Amsterdam onder leiding van de lector E.H. Büchner bij G. Hondius Boldingh gepromoveerd op *Onderzoekingen over osmose*. Paul Jacobus Denekamp (1908-1940), scheikundige bij de N.V. Organon, was op 23 oktober 1933 bij H.R. Kruyt in Utrecht gepromoveerd op *Dielectrische metingen aan sol en gel*. Jacob Postma (1896-1940), directeur van de Hogere Textielschool te Enschedé, was in Leiden op 25 november 1924 onder F.A.H. Schreinemakers gepromoveerd op *Over het kiezelzuursol*. De begeleiding had plaats gevonden door Kruyt in Utrecht.
44 W.P. Jorissen, *Chemisch Weekblad* 42(1946)90-91
45 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 41(1945)126-128. Volgens het boek *In Memoriam* (Den Haag, 1995), p. 124 zou Cohen op 16 mei 1945 in Bergen-Belsen zijn overleden.
46 *Chemisch Weekblad* 41(1945)1-3
47 *Chemisch Weekblad* 41(1945)3: Zeno Paul Polak (1888-1945) was op 18 december 1914 in Amsterdam bij G. Hondius Boldingh gepromoveerd op *Onderzoekingen over sulphas chinini*.

III. Fysische chemie - I

Inleiding

Op het gebied van de fysische chemie heeft ons land met Van 't Hoff en Bakhuis Roozeboom een bijzondere traditie. In het begin van deze eeuw deed men zelfs de uitspraak: ‘de fysische chemie is een Nederlandse wetenschap’. Dat er in ons land tegen het eind van de negentiende eeuw zo'n sterke belangstelling voor de fysische chemie - of algemene chemie, zoals men toen meestal zei - bestond, was niet alleen te danken aan Van 't Hoff, maar ook aan de levendige interesse onder verschillende Nederlandse fysici, met name Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), in de (chemische) thermodynamica.[1] Na diens dood schreef de Delftse hoogleraar in de fysische scheikunde F.E.C. Scheffer in het *Chemisch Weekblad* een artikel ‘over de beteekenis van het werk van Van der Waals voor de chemie’. Het was Van der Waals die in 1885 naar aanleiding van Bakhuis Roozebooms onderzoekingen over de dissociatie van een aantal hydraten van gassen (SO_2, Cl_2, Br_2, HCl) de thermodynamische betrekkingen afleidde, die voor de evenwichten van chemische verbindingen met hun aggregatie-toestanden, gelden. Het was ook Van der Waals die Bakhuis Roozeboom in de loop van 1886 op de fasenregel van Gibbs attendeerde. Terecht wees Scheffer op het feit dat de grens tussen schei- en natuurkunde op het gebied van de fasenleer verdwenen was. ‘En dit ligt ook voor de hand. De thermodynamica levert betrekkingen, welke niet alleen voor physische, maar even goed voor chemische evenwichten gelden en de phasenleer is dan ook niet anders dan de toepassing van de thermodynamica op de heterogene evenwichten in den vorm van den phasenregel. De Heterogene Gleichgewichte van Bakhuis Roozeboom over unaire en binaire stelsels en de beide deelen van de Thermodynamik van Van der Waals - Kohnstamm behandelen dan ook essentieel dezelfde verschijnselen, alleen met dit onderscheid, dat in de thermodynamica vrijwel alleen in den phasenregel terug te vinden is en dat in de laatste, behalve thermodynamische betrekkingen, vooral de toestandsvergelijking op den voorgrond treedt’.[2] Scheffer vergeleek hier *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (1901, 1904) van Bakhuis Roozeboom met Van der Waals' *Lehrbuch der Thermodynamik in ihrer Anwendung auf das Gleichgewicht von Systemen mit gasförmig-flüssigen Phasen*, een bewerking van Van der Waals' colleges door diens leerling Philipp Abraham Kohnstamm (1908, 1912). In het werk van Bakhuis Roozeboom speelt de vaste stof een veel grotere rol dan in dat van Van der Waals, die zijn studenten vooral onderzoekingen over evenwichten zonder vaste stof liet doen, met name de bepaling van de waarden a en b uit de toestandsvergelijking. ‘En dit’ - aldus Scheffer - ‘ was dan ook de reden, dat men vroeger in Amsterdam wel eens hoorde be-

weren dat iemand, die met fluïde phasen werkte, physicus en iemand, die met vaste stof werkte, chemicus was, een bewijs te meer, dat op dit terrein van een scheiding tusschen physica en chemie geen sprake meer is'.

Van 't Hoffs Amsterdamse benoeming, eerst als lector (1877) en een jaar later als gewoon hoogleraar in de algemene en anorganische chemie, is te beschouwen als de geboorte van de beoefening van de fysische chemie in ons land. Toen Van 't Hoff in 1895 naar Berlijn vertrok, waren er onder zijn leerlingen nog geen die voldoende bekwaamheden hadden om hem op te volgen. Het meest in aanmerking kwamen Johannes Jacobus van Laar en Ernst Cohen. Van Laar, die een grote belangstelling had voor het reilen en zeilen van *De Nieuwe Gids* en persoonlijke contacten met een aantal Tachtigers had[3], was de meest belovende als opvolger. Hij werd later lector in Amsterdam, niet in een chemisch vak, maar in de wiskunde. Cohen werd spoedig buitengewoon hoogleraar in de chemie aan de Gemeente Universiteit van Amsterdam en nog geen jaar later gewoon hoogleraar in de algemene en de anorganische chemie aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. Kruyt schreef later over Cohen: 'De geniale van 't Hoff heeft maar één leerling van betekenis nagelaten, de Utrechtrsche hoogleraar Ernst Cohen'.[4]

In deze situatie was de benoeming van de Leidse lector Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom (1854-1907) voor de Amsterdamse fysische chemie een geschenk uit de hemel. Deze leerling van Jacob Maarten van Bemmelen had met behulp van de thermodynamica van Gibbs met groot succes gewerkt over de heterogene evenwichten. Zijn systematische onderzoekingen over systemen van twee componenten leidden tot het ontdekken van nieuwe anorganische verbindingen. Maar de in 1896 benoemde Bakhuis Roozeboom overleed reeds in 1907. Van het samenvattende boek, *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre*, waarin hij al zijn onderzoekingen en die van zijn leerlingen systematisch bijeen wilde brengen, waren pas twee delen (1901, 1904) verschenen.

De thermodynamica van Gibbs bleek voor vele chemici te moeilijk te zijn. De Amerikaanse fysicus was het niet gelukt zijn opvattingen begrijpelijk te maken en dat was de oorzaak dat de minder 'strenge' thermodynamica van Van 't Hoff tot de dertiger jaren een grote invloed op Nederlandse scheikundigen kon blijven uitoefenen. Van 't Hoffs benadering van de thermodynamica was namelijk die van een praktisch chemicus die vooral geïnteresseerd was in het begrijpen van chemische reacties. Van 't Hoff bekommerde zich minder om wetenschappelijke gestrengheid dan om het vinden van eenvoudige verbanden die toepasbaar zijn voor het laboratorium-onderzoek. J.J. van Laar merkte daarover later - in 1921 - op: 'Het is wel jammer, dat in de laatste 30 jaar de scheikunde wat al te veel vermathematizeerd is geworden en de eigenlijke kern dier wetenschap daarbij eenigszins in het gedrang is gekomen. Toch was die verandering in vele opzichten noodig: zonder het ingrijpen van physica èn wiskunde zou de scheikunde een zuiver empirische apothekerswetenschap zijn gebleven. Ook van 't Hoff zag de noodzakelijkheid in van de medewerking der natuurkunde, maar beperkte het wiskundig gedeelte tot een minimum. Dat was tegelijk zijn kracht, en ook zijn zwakheid. Zijn kracht, wijl de nieuwe begrippen thans beter toegankelijk werden voor den durchschnitts-chemicus - zijn zwakheid, omdat bij vele vraagstukken de strenge oplossing nu eenmaal zonder wiskunde niet mogelijk was. Daar moesten v.d. Waals en anderen een handje helpen.'[5]

De invloed van Van 't Hoff uit diens Amsterdamse periode vinden we vooral in het werk van Cohen en Jorissen. Cohen komt verderop in dit hoofdstuk uitvoerig aan de orde. Willem Paulinus Jorissen (1869-1959), die grote verdiensten heeft voor de organisatie van de Nederlandse chemici als een van de oprichters van de KNCV en voor het *Chemisch Weekblad*, waarvan hij vele jaren het redacteurschap bekleedde, had zijn proefschrift *Langzame oxydatie van en zuurstofactieveering door triaethylphosphien, propionaldehyd en benzaldehyd* onder Van 't Hoff bewerkt. Na diens vertrek naar Berlijn promoveerde hij op 21 oktober 1896 bij Bakhuis Roozeboom. In 1902 werd hij privaatdocent in de technische en fysische chemie in Leiden, van 1908 tot aan zijn pensioen in 1940 was hij daar lector in de anorganische en fysische chemie. Als een rode draad loopt door Jorissens werk het onderzoek van oxidatiever-schijnselen (auto-oxidatie, geïnduceerde oxidatie en explosieve reacties), die hij wilde beschouwen vanuit het standpunt van de theorie van de kettingreacties, zoals hij al in zijn dissertatie had gedaan en op 89-jarige leeftijd, kort voor zijn overlijden, samenvatte in zijn boek *Induced Oxidation* (1959). Daarnaast had hij een grote belangstelling voor praktische chemische problemen, zoals voor de verschijnselen, die zich bij het verbranden en exploderen van gasmengsels voordoen en voor het verhinderen van explosies en het doven van vlammen door verschillende zouten. Zijn belangstelling ging ook uit naar verschijnselen op het gebied van de radioactiviteit en de mogelijkheid van transmutatie van de elementen.[6]

De fasentheoretische school van Hedrik Willem Bakhuis Roozeboom

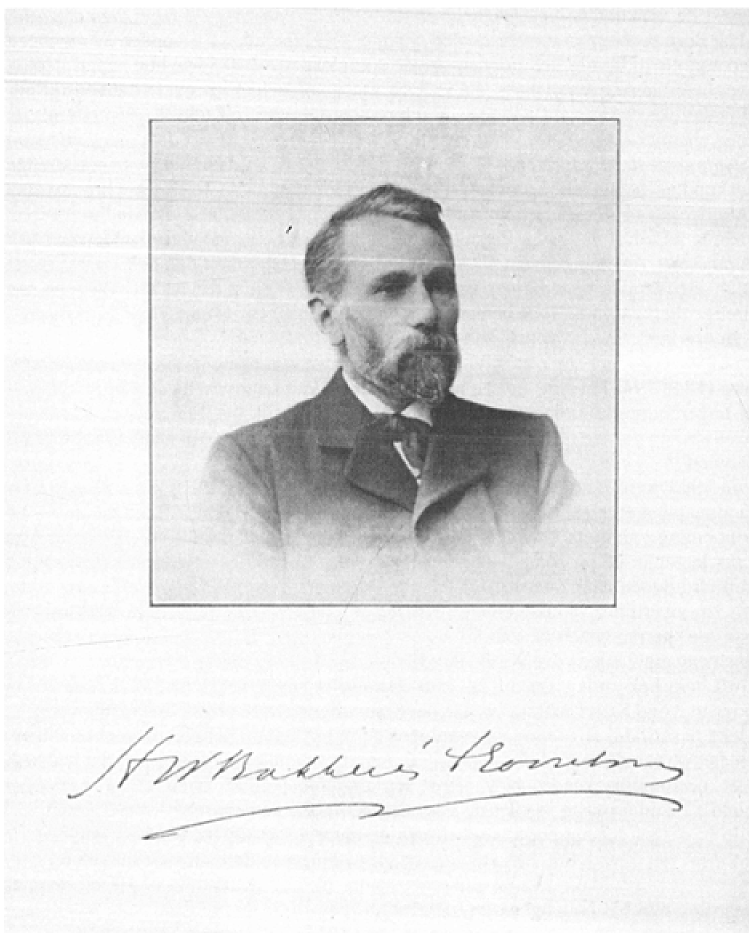
In zijn rede *Ontwikkeling van enkele chemische problemen*, uitgesproken bij de aanvaarding van het lectoraat in de chemie aan de Groningse universiteit (22 september 1906), merkte Jacob Böeseken over de fysische chemie van zijn tijd op, 'dat wij dank zij Bakhuis Roozeboom en Van 't Hoff en hunne leerlingen een veel helderder begrip hebben van alles wat er bij het mengen van stoffen al zoo plaats kan vinden; het zijn deze onderzoekingen over de voorwaarden, waaraan een evenwicht van stoffen, die naast elkander in verschillende aggregaatstoestanden voorkomen, moet voldoen, die een helder licht hebben geworpen op tal van gewichtige problemen. Deze zijn zoowel van technischen aard, wij denken daarbij aan metaalalliages, vooral aan ijzer .... als van geologischen, zooals de voorwaarden, waaronder de uitgestrekte zoutbeddingen van Stassfurt zijn ontstaan'.[7] Böeseken verwees hier naar de uitvoerige studie van Bakhuis Roozeboom over het ingewikkelde systeem ijzer - koolstof, waarin talrijke vaste fasen voorkomen (1900) en naar het Berlijnse onderzoek van Van 't Hoff, die met een groot aantal medewerkers tussen 1896 en 1908 systematisch de vorming had bestudeerd van de natuurlijke zoutafzettingen in Stassfurt: steenzout en de erboven vroeger als waardeloos beschouwde 'Abraumsalze', die de economisch belangrijke kaliumzouten bevatten.[8]

Op 8 januari 1904 had Bakhuis Roozeboom als rector magnificus op de jaardag van de Universiteit van Amsterdam over *de tegenwoordige stand van de problemen der chemie* gesproken. Hij stelde vast dat de scheikunde altijd met twee problemen wordt geconfronteerd, namelijk de samenstelling en de eigenschappen van de stoffen

en hun werking op elkaar. De studie van het gedrag van de chemische stoffen tegenover elkaar leidt tot de leer van de chemische dynamica (de leer van de reactiesnelheden) en tot de leer van de chemische statica (de leer van de evenwichten). In zijn rede ging Bakhuis Roozeboom uitvoerig in op de bepaling van de evenwichtsgrenzen van reacties met behulp van de fasenleer die 'de transformaties [omvat], die in elken toestand afzonderlijk plaats vinden, zoowel als tusschen de verschillende toestanden'.[9] Die studie van de fasenevenwichten 'schijnt mij toe in de naaste toekomst een zeer belangrijke rol te zullen vervullen. Hetgeen thans reeds bereikt werd op zoo menig terrein, geeft gegronde verwachting, dat in haar het leidend beginsel gevonden is, waardoor ook de omzettingen in de meer ingewikkelde chemische stelsels zullen kunnen worden verklaard en in hun samenhang voorgesteld, indien ons voorstellingsvermogen of de hulpmiddelen die de wiskunde verschaft, om dat tegemoet te komen, ons niet begeven'.[10] Bakhuis Roozeboom wees met name op het fasentheoretische onderzoek van alliages en mineralen. Hij had bijzonder grote verwachtingen van de betekenis die de fasenleer voor de technische chemie en de geologie zou kunnen hebben. Zijn studie van het ingewikkelde systeem ijzer - koolstof zag hij als een pronkstuk van de fasenleer. De diepgelovige geleerde besloot zijn rede met te stellen dat het de fasenleer is die 'voor het eerst een gezichtspunt aan[biedt], van waaruit kan worden gepoogd de oneindige verscheidenheid van de werkingen der stoffen te overzien. Hoe verder wij zullen doordringen in de kennis der nu nog onontgonnen terreinen, hoe meer oorzaak er zijn zal voor bewondering der Goddelijke wereldorde, die zich ook op dit gebied der natuur openbaart, en welke die menigvuldige verscheidenheid terugleiden laat tot eenige weinige grondgedachten'.[11]

Rond de eeuwwisseling bleek de fasenregel een hechte en succesvolle regel voor gebruik in de scheikunde te zijn. Van der Waals had de aandacht op de grote betekenis van de verhandeling van Gibbs uit 1876 gevestigd, die voor Bakhuis Roozeboom en zijn medewerkers de leidraad werd van een nieuw onderdeel van de fysische scheikunde: de fasenleer.[12] Hun onderzoekingen hadden de teopasbaarheid van de fasenregel voor een aantal verschillende complexe chemische systemen aangetoond. De Duitse fysico-chemicus Wilhelm Ostwald had het voor chemici in de *Transactions of the Connecticut Academy* verscholen artikel van Gibbs uit 1876 in Duitse vertaling als *Thermodynamische Studien* (1892) een grotere bekendheid gegeven. Van 't Hoffs jarenlange medewerker Wilhelm Meyerhoffer (1864-1906) had voor scheikundigen in 1893 zijn *Die Phasenregel und ihre Anwendungen* geschreven en in 1897 publiceerde de Amerikaanse fysico-chemicus Wilder Dwight Bancroft, die in 1892 bij Ostwald was gepromoveerd en daarna bij Van 't Hoff in Amsterdam verder had gestudeerd, zijn bekende leerboek: *The Phase Rule*. Bakhuis Roozeboom zelf vatte de fasenleer in haar toepassingen op scheikundige evenwichten samen in zijn klassieke *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre*. Het eerste deel ('Die Phasenlehre - Systeme aus einer Komponente') verscheen in 1901; van het tweede deel, dat over de binaire stelsels met twee componenten handelt, kon hij door zijn vroegtijdige dood alleen het eerste gedeelte publiceren (1904). Het werd voltooid door zijn leerlingen E.H. Büchner en A.H.W. Aten sr. (1918). Het derde deel, dat de ternaire stelsels tot onderwerp heeft, werd door een andere leerling, F.A.H. Schreinemakers, bewerkt (1911-1913).

De geldigheid en de toepasbaarheid van de fasenregel was buiten kijf. Problemen



VII. Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom (1854-1907), van 1893 tot 1896 lector fysische chemie te Leiden en van 1896 tot 1907 hoogleraar fysische chemie te Amsterdam als opvolger van Van 't Hoff.

gaven de wiskundige gestrengheid en de methode waarmee de regel was afgeleid. Maar deze problemen interesseerden chemici nier bijzonder. Zij vonden de regel een succesvolle gids voor het ordenen van de complexe resultaten van hun experimenten over heterogene evenwichten, dat in feite alleen een helder inzicht in het begrip 'onafhankelijke component' vereiste. Bakhuis Roozeboom zelf, die in de eerste plaats voor chemici schreef, zei in de inleiding tot *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (1901), dat hij zich verre wilde houden van een strenge wiskundige behandeling 'welche das ganze Gebaüde der Gleichgewichte aus den Grundgesetzen der Thermodynamik deduziert, [...] weil diese Behandlungsweise mehr den Bedürfnissen der Physiker entspricht und eine mathematische Gewandtheit voraussetzt, die den meisten Chemikern abgeht'.[13] Het waren dan ook vooral fysici en de nieuw opkomende groep van fysisch-chemici die hun aandacht richtten op een strenge thermodynamische behandeling van de heterogene evenwichten.

In ons land was dat vooral Johannes Jacobus van Laar (1860-1938), die van 1881 tot 1884 onder Van der Waals, Van 't Hoff en de wiskundige Diderik Johannes Korteweg (1848-1941) in Amsterdam had gestudeerd. Van Laar was na de vierde klas van de hogereburgerschool tegen zijn zin naar het Koninklijk Instituut voor de Marine in Nieuwediep gegaan (1876) en kon door deze vooropleiding geen akademische graad behalen.[14]

In 1903 werd Van Laar assistent van Bakhuis Roozeboom. Hij gaf colleges thermodynamica en elektrochemie en na het overlijden van Bakhuis Roozeboom tot de benoeming van diens opvolger ook colleges fasenleer. Van 1908 tot 1912 was Van Laar lector in de propedeutische wiskunde voor chemici. Om gezondheidsredenen vertrok hij toen naar Zwitserland, waar hij tot aan zijn overlijden woonde en werkte. Na zijn overlijden karakteriseerde Kruyt hem als een man die in zijn werk uitging van 'de thermodynamica van Gibbs en tegelijk [van] de moleculair-kinetische gedachtengang van van der Waals, terwijl ook de intuitief geniale denkwijze van van 't Hoff hem bekoorde'. Dat hij bij zijn chemische landgenoten niet veel waardering oogstte, vond Kruyt achteraf wel te begrijpen. In de eerste plaats 'het mathematische kleed, waarin hij alles stak, dat menigeen de moed benam hem op de voet te volgen, en dan was er zijn onbarmhartige kritiek, scherp aanvallend, die maakte, dat wie hem niet persoonlijk kende, hem voor een ongemoedelijke zwartgallige brombeer hield'.[15] Zijn grootste verdienste voor de chemische gemeenschap zijn ongetwijfeld zijn bijdragen tot het populariseren van de theorie van Gibbs. Dankzij Van Laar is voor tal van chemici de behandeling en toepassing van de thermodynamica op chemische vraagstukken gemakkelijker gemaakt. In haar inaugurele oratie bij de aanvaarding van het buitengewoon hoogleraarschap in de theoretische scheikunde aan de Technische Hogeschool te Delft (14 april 1954) gaf Antonia Elisabeth Korvezee (1899-1978) - die in 1930 in Delft bij Scheffer was gepromoveerd - als voornaamste verdienste van Van Laar voor de fysische chemie dat hij 'vooral door zijn critische zin, maar ook door zijn volharding, medegeholpen heeft het gebruik van de thermodynamica in ons land in goede banen te leiden'.[16]

Van Laar was een uitstekend mathematisch chemicus. In zijn *Die Thermodynamik in der Chemie* (1893) paste hij systematisch de thermodynamica van Gibbs en de toestandsvergelijking van Van der Waals toe op chemische evenwichten. Consequent nam hij de reactiesnelheid als functie van het verschil van de moleculaire thermody-

namische potentialen van de beschouwde evenwichtssystemen.[17]

Hoewel Van Laars werk door de wiskundige behandeling voor veel chemici te moeilijk was, is het een van zijn grootste verdiensten geweest dat hij de behandeling en de toepassing van de thermodynamica op chemische vraagstukken algemeen onder de Nederlandse scheikundigen bekend maakte. In 1905 schreef hij voor het *Chemisch Weekblad* een serie artikelen: 'Iets over den thermodynamischen potentiaal en zijne toepassingen op scheikundige evenwichtsproblemen', die in 1906 in het Duits gebundeld werden uitgegeven als *Sechs Vorträge über das Thermodynamische Potential und seine Anwendungen auf chemische und physikalische Gleichgewichtsprobleme. Eingeleitet durch zwei Vorträge über nichtverdünnte Lösungen und über den osmotischen Druck*. Deze - overigens nooit uitgesproken - zes voordrachten bevatten een helder en duidelijk overzicht over het gebruik van de tweede hoofdwet van de thermodynamica voor de scheikunde.

De berekening van de thermodynamische potentiaal uit direct meetbare toestandsgrootheden kan alleen met behulp van de toestandsvergelijking van Van der Waals (1873):

$$(p+a/V^2).(V-b)=RT,$$

waarin p de druk is, V het volume van een mol gas, R de universele gasconstante en T de absolute temperatuur. Deze toestandsvergelijking bevat twee stofconstanten a en b, waarvan de eerste rekenschap geeft van de aantrekkingskracht tussen de moleculen en de tweede van hun afmetingen. Het probleem waarmee Van Laar werd geconfronteerd was dat a en b geen onveranderlijke grootheden zijn en afhankelijk van de toestandsgrootheden. Een groot deel van Van Laars omvangrijk oeuvre gaat dan ook over de bepaling van de vorm van de temperatuur- en drukafhankelijkheid van de in de toestandsvergelijking van Van der Waals voorkomende stofconstanten. De resultaten van zijn - uit de hem ter beschikking staande experimentele gegevens - uitgevoerde berekeningen werden in 1924 samengevat in zijn *Die Zustandsgleichung von. Gasen und Flüssigkeiten mit besonderer Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Werte von a und b, des kritischen Zustandes und der Theorie der Dampfspannungskurven*. Van Laar onderzocht voorts spinodale en plooipuntslijnen bij binaire mengsels (1907-1909) en smeltlijnen (1903-1909) en schreef het gedegen werk: *Die Thermodynamik einheitlicher Stoffe und binärer Gemische, mit Anwendungen auf verschiedene physikalisch-chemische Probleme* (1935). Verder publiceerde hij een aantal artikelen over de toepassingen van de toestandsvergelijking op de theorie van de homogene en heterogene evenwichten. Opvallend is de mathematische wijze van opbouw, die we ook tegenkomen in zijn *Lehrbuch der theoretischen Elektrochemie auf thermodynamischer Grundlage* (1907).

Gedurende zijn gehele leven was Van Laar voorstander van een zuiver thermodynamische studie van de oplossingsverschijnselen. Hij verzette zich fel tegen de opvatting dat de osmotische druk de oorzaak zou zijn van de verschijnselen in elektrolytoplossingen en wilde de evenwichten in elektrolytoplossingen alleen bestuderen met behulp van de thermodynamische potentiaal. Het is dan ook niet vreemd dat hij al vroeg in conflict kwam met de vooral in Duitsland heersende 'osmotische school'. In zijn bekende *A History of Chemistry* (1964) karakteriseerde de Britse fysische-che-

micus en chemiehistoricus James Riddick Partington Van Laar als een scheikundige die 'published an enormous number of papers, mostly providing 'strict' proofs of well-known thermodynamic and other results, criticising the simple but adequate deductions of van 't Hoff, Nernst, and other physical chemists. His particular aversion was osmotic pressure'.[18]

Op 26 oktober 1929 werd Van Laar voor zijn verdiensten voor de fasenleer de Bakhuis Roozeboom-medaille uitgereikt. Deze medaille was in 1911 ingesteld voor hen die zich voor de fasenleer, in de ruimste zin van het woord, bijzonder verdienstelijk hadden gemaakt. Drie jaar eerder, in mei 1926, had Van Laar in een reeks voordrachten voor verschillende chemische kringen en het Technologisch Gezelschap te Delft gesproken over 'de dwaalwegen der wetenschap', die een goede indruk geven van Van Laars opvatting over de toenmalige stand van de fysische scheikunde. Het probleem was volgens hem 'gebrek aan voldoende mathematische scholing'. Ook in ons land 'waren er genoeg chemici, die niet sterk in hun mathesis stonden, en met beide handen de reddende dwaallichten te gemoet traden en die zonder kritiek aanvaardden'. Een van die dwaalwegen was het werken met de osmotische druk, die 'de geniale van 't Hoff' gebruikte 'teneinde de lastige en vervelende thermodynamische functies te omzeilen'. Er waren volgens Van Laar dan ook omstreeks de eeuwwisseling twee soorten van thermodynamica: 'de goede van Clausius tot Gibbs, v.d. Waals, Duhem en Planck voor de physici - en de andere, met osmotischen druk en kringprocesjes, voor de theoretische chemici'. De laatste aanpak leverde alleen grensformules op voor zeer verdunde oplossingen. Er waren bovendien twee soorten van differentiaalrekening: 'de goede, door de mathematici en physici gebruikt, en die der chemici [...] welke er maar op los differentieerden, zonder er op te letten, welke grootheden met de gedifferentieerde grootheden *mede* veranderden!'. Voor de wiskundig begaafde Van Laar was dit een gruwel. Het leidde allemaal tot 'nieuwe theoretische dwaasheden'. Nog in 1926 signaleerde hij een nieuwe 'dwaalster aan den wetenschappelijken Hemel, nl. het Warmtetheoreem van Nernst'.[19] Nadat Walther Nernst in 1906 zijn *Wärmesatz* had gepubliceerd [bij het absolute nulpunt is het verschil tussen de maximale arbeid (=vrije energie) en de reactiewarmte (=inwendige energie) nul], kwam er direct felle afwijzende kritiek van Van Laar, alsmede van de fysici Ph. Kohnstamm en L.S. Ornstein (1910). Van Laar was tegen de manier, waarop Nernst zijn theorema gebruikte voor de berekening van evenwichtsconstanten van homogene gasreacties. E. Cohen (1911) en H.R. Kruyt (1913) uitten kritiek op de experimentele onderbouwing van het theorema van de Duitse fysisch-chemicus.[20] Cohen reageerde op de discrepantie tussen de door hem experimenteel gevonden elektromotorische kracht van concentratiecellen en de theoretische waarde die uit het theorema van Nernst volgde; Kruyt reageerde op het theoretisch berekende overgangspunt van rhombische en monokliene zwavel, dat afweek van de door hem experimenteel gevonden waarde. Overigens was de verificatie van het warmtetheorema bijzonder moeilijk, omdat bij extreem lage temperaturen evenwichten zich bijzonder langzaam instellen.

Franciscus Antonius Hubertus Schreinemakers (1864-1945) in Leiden

De belangrijkste onderzoekingen op het gebied van de fysische chemie in ons land lagen in het begin van deze eeuw op het gebied van de fasenleer. 'Het leeuwendeel

wordt gevormd door onderzoekingen liggende op het gebied van de thermodynamica, dat wil zeggen door onderzoekingen over evenwichten en wel in het bijzonder over heterogene evenwichten', aldus Ketelaar in 1953 in zijn overzicht van een halve eeuw fysische chemie.[21] Bakhuis Roozeboom stelde dat zijn PTX-voorstelling, zijn ruimtefiguur 'als Typus dienen [kann] für die grosse Mannigfaltigkeit der binären Gemische, welche studiert oder denkbar sind. Die besondere Gestalt, welche den Gleichgewichten jedes besonderen Systems zukommt, wird bedingt durch den Grad der Flüchtigkeit und der Schmelzbarkeit seiner Komponenten'.[22] Hij had zijn opvattingen overgedragen op een nieuwe generatie chemici. Met het fasendiagram waren tal van merkwaardige kritische verschijnselen in binaire systemen te verklaren. Hoewel het werk van Bakhuis Roozeboom van groot belang was voor de nieuwe fysische chemie, was het niet zo breed als dat van Van 't Hoff. Bakhuis Roozeboom had zich namelijk beperkt tot een thermodynamisch-fenomenologische beschrijving van de onderzochte systemen en geen aandacht geschonken aan de microstructuur ervan. Van zijn leerlingen bouwde vooral Schreinemakers voort op het fasentheoretische onderzoek van Bakhuis Roozeboom.

Franciscus Antonius Hubertus Schreinemakers (1864-1945) was in Rolduc opgeleid voor de akte lager onderwijs (1882) en behaalde als onderwijzer in Swalmen bij Roermond de akte middelbaar onderwijs wiskunde. In 1887 ging hij naar Leiden, waar hij colleges fysica, chemie, botanie, zoölogie en geologie volgde en verschillende akten voor het middelbaar onderwijs behaalde. In 1980 werd Schreinemakers leraar aan de kweekschool voor onderwijzers en onderwijzeressen in Leiden en later ook aan de school van het Genootschap Mathesis Scientiarum Genetrix. Op aansporen van Van Bemmelen werkte hij in zijn vrije tijd op het anorganisch-chemisch laboratorium van de universiteit, waar hij samenwerkte met de lector Bakhuis Roozeboom. Toen deze in 1896 naar Amsterdam ging, werd Schreinemakers in Leiden lector. Op 7 juli 1898 werd hem het doctoraat honoris causa in de scheikunde verleend. In 1901 werd hij opvolger van Van Bemmelen. In 1908 droeg hij zijn colleges algemene scheikunde over aan de lector Jorissen en gaf zelf alleen de colleges fasenleer en colloïdchemie. In 1934 ging hij met emeritaat.[23]

Toen Schreinemakers op 18 september 1901 het hoogleraarschap in de anorganische chemie aan de Leidse universiteit aanvaardde, sprak hij over *Een blik in de ontwikkeling der scheikunde*. Nu we 'een nieuwe eeuw zijn binnengetreden, wil ik toch in het kort een terugblik werpen op hetgeen in de vorige eeuwen bereikt is'.[24] Centraal in deze ontwikkeling staat de atoomtheorie, die de scheikunde tot een 'wetenschappelijk gebouw' heeft gemaakt, hoewel 'ondanks de groote ontdekkingen en de hooge ontwikkeling der chemie op de grondslagen der atoomtheorie, [...] toch de atomen zelve in hun wezen en bestaan ondoorgrondelijke raadselen [bleven]'.[25] Maar dank zij de moderne natuurkunde is die kennis sterk toegenomen en hebben experimenten met een hooge graad van zekerheid aangetoond dat in de chemische atomen nog kleinere deeltjes voorkomen. Voor de fysische scheikunde is bovendien een nieuw uitgangspunt gevonden in een mathematische thermodynamische behandeling, hoewel de toepassing daarvan in veel gevallen nog moeilijk blijkt te zijn. Met de wiskundige theorie van Gibbs is men in staat karakteristieke functies te vinden, waarin temperatuur, druk, energie, entropie en het volume van de stof optreden. 'Onbekend met het mechanisme der chemische processen, kan men hieruit gevolgtrek-

kingen van algemeenen aard afleiden. Zonder kennis van het spel der molekulen leeren wij de algemeene voorwaarden kennen voor het evenwicht der stoffen, die met elkaar in wisselwerking treden en tevens de richting der evenwichtsverschuivingen bij verandering van temperatuur en druk'.[26] Maar het werk van Gibbs zou lang zonder invloed op de ontwikkeling der scheikunde zijn gebleven als in Leiden niet talrijke onderzoekingen waren verricht, die het mogelijk maakten de theorie van Gibbs te toetsen en uit te werken. 'Hoe vruchtbaar dit veld was, hebben Bakhuis Roozeboom's schoone onderzoekingen weldra bewezen, want onder zijn leiding heeft de phasentheorie zich tot een schitterend onderdeel der physisch-chemische wetenschap ontwikkeld. Weldra ziet men dan ook andere Laboratoria, zoowel in ons land als daar buiten, het voorbeeld van het Leidsche volgen.'[27]

Schreinemakers zelf onderzocht tussen 1891 en 1924 vooral ternaire en quaternaire systemen. Daarna ging zijn aandacht, als diabeteslijder, naar problemen van de permeabiliteit van membranen en de osmotische druk, waarbij de fasen door een halfdoorlatende wand zijn gescheiden. Tot kort voor zijn overlijden werkte hij aan deze onderwerpen; in 1938 verschenen zijn *Lectures on Osmosis*. In 1911 en 1913 publiceerde hij in twee afleveringen het derde deel van Bakhuis Roozebooms *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre*, met als onderwerpen systemen met slechts één vloeistof zonder mengkristallen en zonder damp en systemen met twee of meer vloeistoffen zonder mengkristallen en zonder damp. Naast Bakhuis Roozeboom heeft vooral Schreinemakers grote invloed uitgeoefend op de ontwikkeling en toepassing van de fasenleer. In 1920 merkte de Britse fysisch-chemicus Frederick George Donnan, een leerling van Wilhelm Ostwald en Van 't Hoff, die de 'nieuwe' fysische chemie in Engeland had geïntroduceerd, op: 'The systematic theoretical and practical development of the great field opened by Gibbs, van 't Hoff and Bakhuis Roozeboom, is chiefly due to Schreinemakers, to whom the science of chemical thermodynamic geometry owes a deep dept of gratitude'.[28]

In 1893 had Schreinemakers zijn zogenoemde 'restmethode' ingevoerd, met behulp waarvan de samenstelling van een vaste fase, zonder deze geheel van de vloeistof te ontdoen, op vernuftige wijze is te bepalen. Uitvoerig beschreef hij deze voor de praktijk van het fasenonderzoek belangrijke methode in een artikel over 'Ternaire evenwichten' in de eerste jaargang van het *Chemisch Weekblad*.[29] In tegenstelling tot Bakhuis Roozeboom worden bij Schreinemakers de problemen streng wiskundig behandeld, waarbij de bevestiging of toepassing van de theoretische afleidingen uitvoerig experimenteel wordt onderzocht. Op deze wijze hield hij zich met zijn leerlingen ook bezig met de vorming en ontleding van dubbelzouten, evenwichten met twee en drie vloeistoflagen (1897-1900), dampspanningen in binaire en ternaire systemen (1901-1904) en mengkristallen in ternaire systemen. Net zoals Bakhuis Roozeboom zich bezig had gehouden met de vorming van mengkristallen in systemen van twee componenten, deed Schreinemakers dat voor systemen van drie componenten. In 1909 behandelde hij, in een van zijn belangrijkste artikelen, geheel geometrisch het probleem van evenwichten in quaternaire systemen.[30] Toen hem op 28 oktober 1916 de Bakhuis Roozeboom-medaille werd uitgereikt, merkte de voorzitter van de Koninklijke Academie van Wetenschappen Lorentz op: 'Mij persoonlijk heeft bijzonder getroffen de wijze waarop gij, in steeds toenemende mate, de hulpmiddelen der wiskunde aan Uwe wetenschap hebt weten dienstbaar te maken; het is mij eene be-

hoefte, mijne bewondering daarvoor bij deze gelegenheid uit te spreken. Ik durf zeggen dat, als wij nog eene medaille hadden, n.l. eene voor welgeslaagde toepassing van wiskundige methoden in de scheikunde, wij U ook die hadden moeten verleenen'.[31]

Schreinemakers was geen leerling van Bakhuis Roozeboom in de letterlijke zin van het woord. Hij maakte met diens werk kennis op het anorganisch-chemisch laboratorium van de Leidse universiteit en voelde er zich direct zo toe aangetrokken dat hij al zijn vrije tijd besteedde aan onderzoekingen op het gebied van de fasenleer, soms alleen, soms samen met Bakhuis Roozeboom. Onder zijn leerlingen vinden we o.a. de jezuïet Petrus Hubertus Jacobus Hoenen (1880-1961), die op 8 oktober 1912 promoveerde op het proefschrift: *Theorie der thermodynamische functies voor mengsels met reageerende componenten en hare toepassingen in de phasenleer*. Hoenen werd hoogleraar in de wijsbegeerte aan de Universitas Gregoriana in Rome (1924) en publiceerde in 1938 een geheel op aristotelisch-atomistische grondslag gebaseerde *Philosophie der anorganische natuur*, waar de wetenschapshistorici Eduard Jan Dijksterhuis (1892-1965) en Reyer Hooykaas (1906-1994) zich fel tegen verzetten.[32] Een andere leerling van Schreinemakers was Gerrit Johan van Meurs (1887-1965), die op 14 maart 1913 promoveerde op *Evenwichten in stelsels, gevormd door water, een phenol en een base* en die bekendheid verkreeg als schrijver van een reeks scheikundeleerboeken voor het middelbare schoolonderwijs.

Andreas Smits (1870-1948) in Amsterdam

'Among the gifts which the older science of physical chemistry gave to chemists, undoubtedly the graphical treatment of heterogeneous equilibria, founded on the phase law of Gibbs, will always occupy a prominent position. Begun and extensively developed by Roozeboom and van 't Hoff, this most valuable and elegant branch of science has been carried on in a masterly fashion by Schreinemakers. Special and most important developments of it are due also to Cohen and to Smits', aldus Donnan in *Nature* van 6 oktober 1921.[33] Het allotropie-onderzoek van Cohen, dat nog aan de orde zal komen, behoorde tot het gebied van de fasenleer. Aan het verschijnsel allotropie werd ook aandacht geschonken door Andreas Smits (1870-1948). Smits had in Utrecht de hogereburgerschool doorlopen, maar niet het staatsexamen Grieks en Latijn afgelegd, dat nodig was voor een universitaire studie. Hij studeerde weliswaar vanaf 1889 scheikunde in Utrecht, maar kon alleen de middelbare akte K3 behalen (1892). Smits wilde echter meer en bleef aan de Utrechtse universiteit verbonden als assistent van de hoogleraar anorganische scheikunde Hendrik Cornelis Dibbits (1838-1903) en werkte onder leiding van diens natuurkundecollega Victor August Julius (1851-1902) aan de bepaling van de dampspanningverlaging van zoutoplossingen, een geliefd onderwerp uit de toenmalige jonge fysische chemie. Op 27 oktober 1896 promoveerde Smits aan de universiteit van Giessen op een door hem geconstrueerde manometer. Hij werd daarna eerste scheikundige bij de gemeentelijke gasfabrieken in Amsterdam. Op voorstel van zijn directeur kreeg hij van burgemeester en wethouders van Amsterdam toestemming op het laboratorium van Bakhuis Roozeboom te werken. Hij volgde toen tevens de colleges van Van der Waals en Bakhuis Roozeboom. In 1901 werd hij toegelaten als privaatdocent in de technische chemie in Amsterdam en in 1903 tevens in de fysische chemie. In 1904 werd hij be-

noemd tot lector in de technische chemie in Amsterdam en na een kort hoogleraarschap in de fysische en anorganische chemie aan de Technische Hogeschool in Delft (1906), volgde in 1907 zijn benoeming tot hoogleraar anorganische en algemene chemie in Amsterdam als opvolger van Bakhuis Roozeboom. Hij bleef daar tot zijn emeritaat in 1940.[34] De benoeming van Smits in Amsterdam was overigens niet zonder problemen verlopen. Er was een sterke oppositie van een aantal leerlingen van Bakhuis Roozeboom, waaronder H.R. Kruyt die Amsterdam verliet en in 1908 bij Cohen in Utrecht promoveerde. Ook Cohen had weinig sympathie voor zijn Amsterdamse collega.

'Waar de phasenleer wordt toegepast, overal leidt zij tot dieper inzicht!', aldus Smits in zijn Amsterdamse inaugurele oratie *De chemie in hare oude en nieuwe banen* (9 december 1907).[35] Het is de rode draad die door Smits' gehele wetenschappelijke werk loopt. Smits sprak de verwachting uit dat voor de naaste toekomst 'voor de phasenleer een tijdperk zal aanbreken, nog schooner en nog rijker aan resultaten dan dat, hetwelk reeds achter ons ligt'.[36] Maar naast deze onderzoeksrichting wilde hij ook het 'oog richten op een pad daarnaast, dat, zich reeds op het terrein van het homogene evenwicht van de hoofdbaan afsplitsende, hier het uitzicht opent op de photothermische en de electrothermische evenwichten, wier studie tot uiterst belangrijke en geheel onverwachte resultaten voert'[37], terwijl hij ook wees 'op een baan, die aan het eind der vorige eeuw ontstaan, op geenerlei wijze met de reeds genoemde samenhangt: n.l. die van de transmutatie der elementen'.[38] In zijn afscheidsrede op 21 juni 1940 vatte hij zijn wetenschappelijk werk als volgt samen: 'De onderzoekingen verliepen over het algemeen zeer voorspoedig. Zij hadden betrekking eenerzijds op problemen op het gebied der phasenleer liggende, in het bijzonder op stelsels met kritische eindpunten en het quantitatieve onderzoek daarvan, anderzijds op de problemen der passiviteit en polarisatieverschijnselen, en op dat van het fotoelectrisch effect. Er werd een onderzoek ingesteld omtrent een mogelijke en schijnbaar gelukte transmutatie van lood in kwik, maar bij voortzetting van dit onderzoek bleek, dat met de aanwezige hulpmiddelen, volkomen zekerheid niet te bereiken was. Ten slotte ging het onderzoek over een zoo breed mogelijke toetsing van de opgestelde complexiteitsbeschouwingen, die intusschen tot de lage temperatuurovergangen in de vaste stof werden uitgebreid'.[39]

Tot 1905 werkte Smits over verschijnselen van de verdunde oplossingen (damp-spanningverlaging en kookpuntsverhoging), maar teruggekeerd in Amsterdam verschoof zijn belangstelling zich spoedig naar het gebied van de fasenleer. Op instigatie van Bakhuis Roozeboom verrichtte Smits een belangrijk onderzoek naar het stelsel ether-antrachinon, een binair systeem waarin het smeltpunt van de ene component boven de kritische temperatuur van de andere ligt (1903-1906, 1911). Hij werkte onder andere over systemen met drie componenten met kritische eindpunten waar twee fasen identiek zijn en na 1910 vooral over pseudobinaire systemen. In dat jaar publiceerde hij een nieuwe theorie van de allotropie. Smits ging uit van de veronderstelling 'dat het regel is, dat een homogene phase van een stof uit verschillende molecuulsoorten (de ionen hieronder gerekend) is opgebouwd'.[40.] Iedere stof die een overgangspunt vertoont, bestaat volgens hem uit twee verschillende molecuulsoorten, die bij iedere temperatuur met elkaar in evenwicht zijn. Steun vond hij voor zijn theorie in een onderzoek van Kruyt over de allotropie van zwavel (1908) en van Co-



VIII. Andreas Smits (1870-1948), van 1904 tot 1906 lector technische chemie te Amsterdam, van 1906 tot 1908 hoogleraar anorganische en fysische chemie te Delft en van 1907 tot 1940 hoogleraar fysische chemie te Amsterdam als opvolger van Bakhuis Roozeboom.

hen en Jacob Olie jr. (1879-1955) over fosfor (1909). 'Gaan wij uit van de buiten eenigen twijfel juiste aanname, dat er altijd in meer of mindere mate menging in den vasten toestand plaats grijpt, en dat, wanneer er innerlijk evenwicht in de vloeistofphase heerscht, dit ook het geval moet zijn in de vaste phase', dan - aldus Smits - moeten we de verschijnselen van enantiotropie en monotropie opvatten als 'een ontmenging in den vasten toestand'.[41.] Kruyt sprak zich later smalend uit 'Über Herrn Smits' "neue" "Theorie" der Allotropie'[42.].

Smits beschouwde zijn onderzoekingen van stelsels met zogenoemde pseudocomponenten als zijn levenswerk. In zijn onderzoekingen is het fenomenologisch begrip component niet langer voldoende en wordt kennis van de microscopische structuur van het systeem noodzakelijk. Smits meende dat in ieder één-component systeem twee soorten moleculen aanwezig zijn, die als componenten van een pseudobinair systeem zijn op te vatten. Een pseudobinair systeem is een één-component systeem, waarvan de moleculen chemisch dezelfde zijn, maar niettemin in twee soorten verdeeld kunnen worden. Tussen die twee soorten moleculen heerst een evenwicht en ze onderscheiden zich door hun 'fysische' eigenschappen. Ieder unair systeem is dus in werkelijkheid 'complex', waarmee volgens Smits het mogelijk is het verschijnsel allotropie te verklaren. In tegenstelling tot de praktische benadering van het probleem van de allotropie, zoals bijvoorbeeld Cohen in Utrecht deed, ging Smits uit van door hemzelf ontwikkelde theoretische beschouwingen. Allotropie verklaarde hij met de aanname dat ook zuivere fasen verschillende molecuulsoorten bevatten, die in verschillende hoeveelheden aanwezig zijn in de allotrope vormen. Ook bij vloeistoffen is volgens hem allotropie door dezelfde oorzaak mogelijk. Zo komen in dampvormig, vloeibaar en vast benzeen verschillende molecuulsoorten van verschillende grootte voor, die zich met grote snelheid in elkaar omzetten en die bij een bepaalde druk en temperatuur met elkaar in evenwicht zijn.

Smits vond zijn theorie dat de verschillende aggregatietoestanden van stoffen, die zich volkomen als enkelvoudige stoffen gedragen, in werkelijkheid toch samengesteld zijn, 'bevestigd' door onderzoekingen van Herbert Brereto Baker, hoogleraar scheikunde aan het Imperial College of Science and Technology in Londen. Baker had in 1912 gevonden dat de kookpunten van stikstoftrioxide en stikstoftetroxide na intensieve droging met fosforpentoxide verhoogd werden. Hij droogde vervolgens verschillende organische vloeistoffen gedurende acht tot negen jaar met fosforpentoxide, en vond een verhoging van het kookpunt, een verlaging van de dampspanning, terwijl uit meting van de oppervlaktespanning een hoger molecuulgewicht volgde.[43.] 'Hieruit volgt dus, dat de moleculen in de hier onderzochte, intensief gedroogde vloeistoffen grooter zijn geworden, of m.a.w. dat er associatie of polymerisatie heeft plaats gegrepen', concludeerde Smits in 1924.[44.] Een verklaring van het merkwaardige feit dat de eigenschappen van stoffen door intensieve droging zo sterk kunnen veranderen, kon men niet geven, maar dat kon wel 'hier in Amsterdam, omdat hier in 1911 beschouwingen waren ontwikkeld, waarin de resultaten van Baker zeer goed pasten'. Intensieve droging bewerkt dat de omzettingen tussen de verschillende molecuulsoorten in een stof worden stopgezet. Baker kreeg door de verdamping, die aan het koken voorafging, een vloeistof van een andere samenstelling en hoger kookpunt. Vanaf 1921 paste Smits de methode van de intensieve droging als toetsing van zijn opvattingen, systematisch toe op zijn laboratorium. Voor deze toet-

sing was Smits' belangstelling na 1924 ook sterk gericht op het onderzoek naar de door hem veronderstelde mogelijkheid van de omzetbaarheid van metalen in elkaar, in het bijzonder van lood in kwik met behulp van een kwarts-loodlamp, door vonken of in een elektrische boog tussen loodelektroden en door bestraling met zonlicht, röntgenstraling en ultraviolet licht.

Gedurende zijn gehele leven verdedigde Smits zijn hypothese en paste ze niet alleen toe op allotrope vormen, maar ook op de passiviteit van metalen, elektromotorische evenwichten, het systeem ortho- en parawaterstof, intensief gedroogde stoffen en het probleem van de continue overgangen. Met name de ontdekking van ortho- en parawaterstofmoleculen, die zich alleen onderscheiden in de oriëntatie van de kernspin (1927), zag Smits als de fraaiste bevestiging van zijn voorspelling dat de complexiteit van de fasen een algemeen verschijnsel is. In 1921 publiceerde hij zijn *Die Theorie der Allotropie*; in 1938 *Die Theorie der Komplexität und der Allotropie*. De Groningse hoogleraar in de theoretische natuurkunde en latere Nobelprijswinnaar Frits Zernike (1888-1966), die op 17 februari 1915 bij Smits tot doctor in de scheikunde was gepromoveerd op het proefschrift *L'opalescence critique, théorie et experiments*, besprak het laatste boek uitvoerig in het *Chemisch Weekblad*. Smits' verklaring van het verschijnsel van de allotropie ging Zernike duidelijk te ver: 'Het boek had eigenlijk ook kunnen heeten: Die Komplexitätstheorie der Allotropie, want de voorgestelde *theorie* brengt de verschijnselen der allotropie terug tot het complex, d.w.z. uit mengsels van verschillende isomere of polymere moleculen opgebouwd, zijn van de stoffen. Hier mag wel in de eerste plaats even vastgesteld worden, dat een "theorie" in dit verband beteekent: een voorshands door de feiten nog niet geheel bewezen werkhypothese'.[45.] Zernike was bereid aan te nemen dat allotropie in veel gevallen toegeschreven moet worden aan het optreden van verschillende moleculen die in elkaar overgaan. Dat is door Smits en zijn leerlingen volkomen bewezen. Maar verder wilde Zernike niet gaan, 'terwijl Smits, met de overtuiging van den ontdekker, niet tevreden is voor hij tot de extreme uitspraak [...] gekomen is: "Die Theorie der *Komplexität* beruht auf der Annahme, dass *alle* Phasen eines sogenannten einfachen Stoffes komplex, d.h. aus verschiedenen Molekülarten, welche sich in einander umwandeln können, zusammengesetzt sind"'.[46.]

Kruyt merkte later op: 'Een speciale opvatting van het allotropieverschijnsel loopt als draad door het Amsterdamse werk [van Smits] uit de jaren tot aan de oorlog'[47.], terwijl Ketelaar in zijn memoires opmerkte: 'Mijn leermeester Smits was als wetenschapper een merkwaardig man. Hij werkte sterk gericht op een opvallend resultaat en daarbij ging hij geen experimentele moeilijkheid uit de weg. Zijn laboratorium muntte uit door goede werkplaatsen. Smits paste snel nieuwe methoden toe, waarvoor hij goede mensen aantrok, Bijvoet voor röntgenanalyse, Gerding voor het Raman-effect. Smits wilde zo bewijzen vinden voor zijn 'Theorie der Allotropie', gebaseerd op de hypothese van algemene aanwezigheid van meer dan één molecuulsoort, ook in een zuivere stof. Bij snelle instelling van het inwendige evenwicht gedroeg de stof zich toch schijnbaar als een unair systeem'.[48.] Smits zelf merkte in zijn afscheidscollege over de ontvangst van zijn opvattingen op: 'Na eenig verzet, die deze [complexiteits] beschouwingen in den aanvang, zoowel in ons land als elders verwekten, hebben wij de toetsing van deze beschouwingen rustig kunnen uitvoeren, zonder dat wij door tijdschriftartikelen werden gestoord. De verklaring hiervan was zeer een-

voudig; men vond de complexiteitsbeschouwingen zóó vreemd, dat men er vele jaren niet aan heeft kunnen gelooven. Ik heb dit nooit verwonderlijk gevonden, want ik kon mij zoo levendig voorstellen, dat het voor velen moeilijk moest wezen, aan te nemen, dat stoffen, die men steeds voor werkelijk enkelvoudig had aangezien, in wezen komplex zijn'.[49.]

Smits was in de eerste plaats een begaafd experimentator. In zijn afscheidscollege sprak hij de wens uit 'dat men zal inzien, dat er geen behoefte bestaat aan speculaties, maar wel aan ernstig experimenteel onderzoek, en dat het daarom een eerste vereischte is, aan onze universiteiten uitnemende experimentatoren met een degelijk theoretisch inzicht te kweeken. Daaraan bestaat nl. groote behoefte'.[50.] Onder zijn promovendi vinden we niet alleen verschillende latere hoogleraren: Gerrit Meyer (1892-1967; van 1920-1947 lector en van 1947-1962 hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft[51.]), Johannes Martin Bijvoet (1892-1980; van 1929 tot 1939 lector in Amsterdam en van 1939-1962 hoogleraar in Utrecht), Harm Gerding (1899-1991; vanaf 1949 lector en van 1953-1970 hoogleraar in Amsterdam[52.]) en Jan Arnold Albert Ketelaar (*1908; van 1941-1978 hoogleraar in Amsterdam en van 1960-1973 directeur research bij de Koninklijke Nederlandse Zoutindustrie in Hengelo), maar ook Sijbrand Cornelis Bokhorst (1888-1965), die op 10 mei 1915 bij Smits promoveerde op *Onderzoekingen ter toetsing van de theorie der allotropie* en als directeur van de hogereburgerschool in Amsterdam grote bekendheid kreeg als schrijver van een scheikundeleerboek dat door vele generaties leerlingen van de middelbare school is gebruikt.

De fasenleer, het levenswerk van Bakhuis Roozeboom en Schreinemakers, had iets typisch Nederlands. Kruyt vertelde dat Freundlich hem in de jaren dertig had gezegd: '[J]ullie Nederlanders hebben iets, wat wij allemaal missen en dat we ons niet meer eigen kunnen maken. Jullie zijn allemaal òf leerlingen van Roozeboom òf leerlingen van zijn leerlingen; jullie hanteren een gedachtengang, die voor jullie zó vanzelfsprekend is, dat je hem niet nader toelicht en jullie gebruiken een daaruit voorvloeiende nomenclatuur, die wij niet verstaan. Altijd weer benijd ik jullie om die typisch Nederlandse vorming'.[53.]

Kruyt schreef dit in 1954, in het speciale nummer van het *Chemisch Weekblad* dat als thema de 'Eeuwherdenking Bakhuis Roozeboom' had. Maar de fasenleer werd in de loop van deze eeuw aan de universiteiten steeds minder als zelfstandige discipline beoefend. In hetzelfde nummer van het *Chemisch Weekblad* vroeg Jan Laurens Meijering (1909-1980), die op 18 december 1935 bij Smits was gepromoveerd op *De complexiteit van het aluminiumchloride* en daarna tot 1963 verbonden was aan het Natuurkundig Laboratorium van Philips in Eindhoven: 'Is de phasenleer een zodanig afgerond vak geworden, dat het nu alleen nog maar om toepassingen en catalogisering gaat? In een zo bij uitstek op deductie gebaseerde tak van wetenschap moet men verwachten dat fundamenteel nieuwe gezichtspunten schaars zullen worden'.[54.] Dat het vak zijn betekenis niet verloor, blijkt vooral uit het Delftse werk van Reinders en Scheffer.

Willem Reinders (1874-1951) en Frans Eppo Cornelis Scheffer (1883-1954) in Delft

Willem Reinders (1874-1951) was na zijn studie scheikunde in Amsterdam (1893-

1899) op 21 september 1899 bij Bakhuis Roozeboom gepromoveerd op een proefschrift *Mengkristallen van kwikiodid en kwikbromid*, het eerste voorbeeld van het door Bakhuis Roozeboom voorspelde stelsel van mengkristallen in een continue reeks met minima in de smeltfiguur. Na te hebben gewerkt op verschillende buitenlandse laboratoria (Londen, Zürich, Leipzig), werd Reinders leraar aan de hogereburgerschool in Veendam (1900) en aan de hogereburgerschool en het gymnasium te Breda (1901) en in december 1907 benoemd tot hoogleraar in de anorganische en fysische chemie aan de Technische Hogeschool te Delft als opvolger van Smits. In 1939 ging hij met emeritaat.[55.]

In zijn onderzoek over heterogene evenwichten wilde Reinders de theoretische kennis gebruiken om aan vraagstukken, die in de praktijk voorkomen, een oplossing te geven. Hij deed fasentheoretisch onderzoek op het gebied van de metallurgie van koper, lood en ijzer en onderzocht het conversiesalpeterprocédé, waarin kalisalpeter (KNO_3) wordt bereid door dubbele omzetting van het in Stassfurt gewonnen kaliumchloride met chilisalpeter ($NaNO_3$) (1915). Vanaf 1916 bestudeerde hij met zijn leerlingen Frans Goudriaan (1892-1984) en Lodewijk Hamburger (*1890) roostprocessen en hield zich bovendien bezig met fotochemisch en colloïdchemisch onderzoek, in het bijzonder op het gebied van het fotografisch proces. Goudriaan promoveerde op 11 mei 1916 op het proefschrift *Dissociatie-evenwichten in het stelsel metaal-zwavel-zuurstof. Bijdrage tot de theorie der roostprocessen*; Hamburger op 4 juli 1917 *Over licht-emissie door gassen en mengsels van gassen bij electrische ontladingen*.

In 1920 werd de leeropdracht van Reinders, die tot dan toe de anorganische en fysische chemie had gedoceerd, gewijzigd in alleen fysische chemie. De anorganische chemie werd opgedragen aan Frans Eppo Cornelis Scheffer (1883-1954), die evenals Reinders in Amsterdam scheikunde had gestudeerd en na zijn doctoraal in 1906 onder Bakhuis Roozeboom met een promotieonderzoek was aangevangen. Het werd onder Smits voltooid; op 12 mei 1909 promoveerde Scheffer op het proefschrift *Heterogene evenwichten bij dissocieerende verbindingen*.[56.] Van 1907-1916 was Scheffer assistent bij Smits; in 1910 werd hij toegelaten als privaatdocent in de reactiekinetica aan de Universiteit van Amsterdam. Daarnaast was hij leraar bij het middelbaar onderwijs. In 1917 volgde zijn benoeming tot hoogleraar in de analytische chemie in Delft en in 1920 werd zijn leeropdracht gewijzigd in die van anorganische chemie. Tevens doceerde hij tot aan zijn emeritaat in 1953 naast Reinders de fysische chemie.

De titels van Scheffers dissertatie en van zijn openbare les in Amsterdam (*Over snelheden en evenwichten en hun onderling verband*; 14 oktober 1910)[57.] markeren de twee gebieden waarop Scheffers eigen onderzoek vooral betrekking zou hebben: reactiekinetica en fasenleer. In Amsterdam werkte hij samen met de fysicus Philip Abraham Kohnstamm (1875-1951), sinds 1908 buitengewoon hoogleraar in de thermodynamica. Op 24 december 1910 bood Van der Waals samen met Pieter Zeeman op de vergadering van de wis- en natuurkundige afdeling van de Academie van Wetenschappen ‘eene mededeeling aan namens de Heeren Ph. Kohnstamm en F.E.C. Scheffer: Thermodynamische potentiaal en reactiesnelheid’, waarin een thermodynamische behandeling van de snelheid van chemische reacties werd gegeven. Twee jaar later, op 25 januari 1913, deden Holleman en Van der Waals dat voor een verhande-

ling 'over reactiesnelheden en evenwichten', nu van Scheffer alleen.[58.] In Scheffers thermodynamische en kinetische beschouwingen over de reactiesnelheid k werd aan de grootheid B in de formule van Arrhenius: $\ln k = A/T + B$, een kinetische betekenis toegekend en werd ze niet, zoals algemeen gebruikelijk, alleen als een integratieconstante beschouwd. In Delft werkte Scheffer samen met Wiebold Frans Brandsma (1892-1964), die op 17 december 1925 bij hem promoveerde, aan de theorie van chemische reactiesnelheden.[59.] In het voorwoord bedankte Brandsma zijn werkgever: 'De N.V. Philips Gloeilampenfabrieken stelde mij in de gelegenheid dit proefschrift te voltooien, waarvoor ik hier gaarne mijn dank breng'.

In zijn dissertatie merkte Brandsma op, dat de meeste theorieën over de reactiesnelheid uit zijn tijd[60.] gebaseerd zijn op de klassieke theorie en niet op de kwantum-theorie, omdat deze nog niet in staat is voldoende scherp een beeld van het reactie-mechanisme te ontwerpen. Een poging van de fysicus Hendrik Anthony Kramers (1894-1952) en de Deense chemicus Jens Anton Christiansen, die toen bij Niels Bohr in Kopenhagen werkten, om op kwantumtheoretische grondslag een verklaring te geven van monomoleculaire reacties had geresulteerd in het opstellen van een buitengewoon ingewikkeld reactiemechanisme (1923).[61.] In ons land voerde Scheffer in het begin van de jaren twintig op basis van de klassieke theorie het begrip activerings-energie in. Zijn experimentele bepalingen van en theoretische discussies over de invloed van energie en entropie op de snelheid van chemische reacties hebben veel bijgedragen tot een beter begrip van de invloed die de temperatuur op het verloop van eenvoudige en meer gecompliceerde reacties heeft. Zijn resultaten op dit gebied zijn te beschouwen als voorloper van de theorie van de 'absolute reaction rates' van Henri Eyring (1935).

Zeer belangrijke bijdragen heeft Scheffer aan de fasenleer geleverd. Zijn laatste onderzoekingen, na 1948 verricht met onder andere zijn latere opvolger George Arnold Maria Diepen (1910-1995) en met Christiaan Anne van Gunst (*1922), hadden betrekking op de oplosbaarheid van vaste stoffen in superkritisch gas en hebben geleid tot een nieuwe, technisch belangrijke fysisch-chemische scheidingsmethode voor mengsels van vaste stoffen.[62.]

Scheffer werkte geheel in de lijn van zijn Amsterdamse leermeesters en stond afwijzend tegenover de nieuwe ontwikkelingen in de fysische chemie. Hij betreurde het dan ook dat de fasenleer steeds meer op de achtergrond geraakte en zorgde ervoor dat in Delft de fasenleer een van de hoofdvakken voor de chemicus bleef. Hij schreef een tweetal leerboeken: *Toespassingen van de thermodynamica op chemische processen* (1946) en *Heterogene evenwichten in unaire en binaire systemen* (1953).

Het waren niet alleen Reinders en Scheffer die de fasenleer als onderdeel van de fysische chemie aan een Nederlandse instelling van hoger onderwijs hebben beoefend. Ook andere leerlingen van Bakhuis Roozeboom moeten hier genoemd worden: Aten sr. in Amsterdam (1907), Kruyt in Utrecht (1912) en Büchner in Amsterdam (1919). Adriaan Hendrik Willem Aten sr. (1877-1950) was op 17 maart 1904 bij Bakhuis Roozeboom gepromoveerd op *Onderzoekingen over het stelsel zwavel en chloor*.

Achtereenvolgens werd hij lector (1907), buitengewoon (1919) en gewoon (1941) hoogleraar in de elektrochemie. In 1930 kwam daar de analytische chemie bij, nadat Gerrit Hondius Boldingh (1865-1936), een promovendus van Van 't Hoff, die sinds

1909 buitengewoon hoogleraar was in de analytische en de farmaceutische chemie, de microchemie en de toxicologie, met emeritaat was gegaan. In 1948 ging Aten zelf met emeritaat.[63.]

Atens wetenschappelijk werk begon met de fasenleer. Geheel in de geest van zijn leermeester onderzocht hij onder andere de pseudo-binaire systemen (vanaf 1905), de verschillende molecuulsoorten van zwavel (vanaf 1912) en verzorgde hij het derde stuk van deel II van Bakhuis Roozebooms *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre*, dat over pseudobinaire systemen handelt (1918). Door zijn leeropdrachten verplaatste Aten onderzoeksgebied zich langzamerhand van de fasenleer naar de elektrochemie en de analytische chemie, waarbij hij naast een grote wetenschappelijke belangstelling ook sterke interesse toonde voor technische toespassingen.

Zijn collega Ernst Hendrik Büchner (1880-1967), die zijn naam later als Buchner schreef, was op 15 juni 1905 bij Bakhuis Roozeboom gepromoveerd op de *Gedeeltelijke mengbaarheid van vloeistoffen bij mengels van koolzuur en een tweede stof*. Hij was assistent bij Bakhuis Roozeboom en daarna bij Smits, werd in 1909 privaatdocent in de radioactiviteit, in 1919 lector en in 1946 buitengewoon hoogleraar in de propedeutische, algemene en anorganische chemie.[64.] Büchner werkte op het gebied van de fasenleer, radioactiviteit en vooral colloïdchemie (lyotrope verschijnselen) en ook hij bewerkte een deel van Bakhuis Roozebooms onvoltooid gebleven *Die heterogenen Gleichgewichte*. In 1918 verscheen het tweede gedeelte van het tweede deel dat over systemen van componenten handelt, waarbij als vaste fase slechts de componenten zelf optreden en er slechts één vloeistoffase mogelijk is. Vanaf 1920 bewerkte hij ook de nieuwe drukken van Hollemans *Leerboek der anorganische Chemie*. Kruyt tenslotte, wiens werk nog uitvoerig ter sprake zal komen, stapte net als Büchner 'al vroeg van het phasentheoretische naar het kolloïd chemische terrein over', zoals hij in 1948 zou opmerken.[65.]

Toen Büchner op 21 juni 1940 bij het afscheid van Smits als hoogleraar deze toesprak, wees hij op het veranderde karakter van de fysische chemie sinds hun studietijd bij Bakhuis Rozeboom. 'Hoe ver ligt die tijd achter ons! Hoezeer is het aspect der chemie veranderd! *Toen* trachtte Bakhuis Roozeboom met zijn leerlingen de studie der systemen van twee stoffen op den grondslag van de phasenregel te voltooien. Men kan zeggen, dat dit doel, zooals hij het zag, bij zijn dood in 1907 bereikt was. Thans hoort dat alles tot de klassieke physische chemie. Reeds spoedig na 1907, het jaar van uw optreden als hoogleeraar aan onze universiteit, werden nieuwe banen geopend. Laue's ontdekking van de interferentie der Röntgenstralen deed een geheel nieuwe kristallografie onstaan, die voor de chemie veel grootere beteekenis kreeg dan de oude ooit gehad had. Bohr's atoomtheorie leverde de verklaring van het periodiek systeem der elementen en van het tegelijkertijd ontdekte verschijnsel der isotopie. De ontwikkeling der radioactiviteit, die reeds eerder aangevangen was, leerde de atomen als niet-stabiele systemen zien. Ook de leer der quanta en later de golfmechanica oefenden hun invloed - en een grooten - op de richting, waarin de chemie zich ontwikkelde. Er werden daardoor andere problemen aan de orde gesteld, nieuwe mogelijkheden tot proefneming geopend.'[66.] Op deze nieuwe takken van de fysische chemie zal later worden teruggekomen.

Ernst Julius Cohen (1869-1944)

Ernst Julius Cohen werd op 7 maart 1869 in Amsterdam geboren als zoon van de genaturaliseerde Duitse chemicus Jacques Cohen, directeur van de 'Maatschappij voor chemische Industrie (Nederlandsche Koolteerstokerij)' te Amsterdam.[67.] Na in 1886 het eindexamen van de 5-jarige hogereburgerschool te hebben behaald, besloot Cohen scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam te gaan studeren. Het daartoe vereiste staatsexamen behaalde hij in juni 1888. Hij volgde toen al twee jaar colleges: scheikunde bij Van 't Hoff, natuurkunde bij Van der Waals en wiskunde bij Korteweg. In 1890 legde Cohen het kandidaatsexamen af; in 1892 het doctoraalexamen.

Cohen studeerde in de tijd dat Van 't Hoff op het hoogtepunt van zijn wetenschappelijke carrière stond.[68.] In 1884 had deze zijn *Études de dynamique chimique* gepubliceerd, waarin de grondslagen van een geheel nieuw veld van onderzoek, de leer van het chemische evenwicht, waren uiteengezet. In het boek paste Van 't Hoff met succes de wetten van de thermodynamica toe op problemen van het chemische evenwicht en de affiniteit. In 1886 publiceerde hij zijn voornaamste bijdrage tot de fysische scheikunde, namelijk de theorie van de verdunde oplossingen; in 1890 gevolgd door zijn theorie van de vaste oplossingen.

Gedurende zijn Amsterdamse hoogleraarschap (1877-1896) concentreerde het onderzoek van Van 't Hoff en zijn medewerkers zich vooral op de kwantitatieve bepaling van reactiesnelheden en de omzettingstemperaturen bij chemische reacties. In Van 't Hoffs twintig Amsterdamse jaren koos een veertigtal studenten hem als hun leermeester en werkten er tal van buitenlanders op zijn laboratorium. Twintig studenten bewerkten onder leiding van Van 't Hoff hun proefschrift, waaronder Cohen. Deze koos als dissertatieonderwerp *Het bepalen van Overgangspunten langs Electrischen Weg en de Electromotorische Kracht bij Scheikundige Omzetting*, waarop hij op 8 november 1893 bij Van 't Hoff geworden als opvolger van Lodewijk Theodorus Reicher (1857-1943), die benoemd was tot chemicus en botanicus op het laboratorium van de Gemeentelijke Gezondheidsdienst te Amsterdam (15 mei 1893). Cohen wijdde zich naast zijn assistentschap geheel aan wetenschappelijk werk. Nadat Van 't Hoff in juli 1895 Nederland had verlaten om in Berlijn een nieuwe periode in zijn leven te beginnen, werd Bakhuis Roozeboom zijn opvolger. Cohen was inmiddels toegelaten als privaatdocent en gaf colleges over elektrochemie, chemische dynamica en statica. In hetzelfde jaar 1896 publiceerde hij een bewerking van Van 't Hoffs *Études* als *Studien zur chemischen Dynamik*, waarin de resultaten van Van 't Hoffs Amsterdamse onderzoekingen waren verwerkt. Cohen hield zich in deze jaren vooral bezig met onderzoekingen over overgangselementen, de allotropie van tin en de scheikunde van het fotografisch proces. In september 1897 werd zijn antwoord op een in 1895 door het Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijke Wijsbegeerte te Rotterdam uitgeschreven prijsvraag over 'een experimenteel onderzoek naar de dissociatie van stoffen, opgelost in verschillende mengsels van alcohol en water' met



IX. Ernst Julius Cohen (1869-1944), hoogleraar fysische chemie te Amsterdam (1901-1902) en te Utrecht (1902-1939), als jong Utrechts hoogleraar.

goud bekroond.[69.] Cohen was echter niet alleen actief op natuurwetenschappelijk gebied, maar hield zich ook intensief bezig met kennisoverdracht. Onder zijn leiding werd van 4 tot 6 april 1899 in Amsterdam een vakantiecursus voor leraren in de natuurwetenschappen gehouden[70.] en in 1901 hield hij voor een twintigtal medici (waaronder de Amsterdamse medische hoogleraren Rudolph Hendrik Saltet, Barend Joseph Stokvis en Manuel Straub) op negentien zaterdagavonden een reeks *voordrachten over physische scheikunde voor geneeskundigen*.[71.]

Cohens wetenschappelijk werk bleef niet onopgemerkt. Op 24 oktober 1901 werd hij benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de chemie aan de Universiteit van Amsterdam met als leeropdracht de fysische chemie. Op 9 december van dat jaar hield hij zijn oratie: *Uitersten op het gebied der algemeene of physische chemie*. Lang bleef hij niet in Amsterdam. Al op 23 juni 1902 werd hij in Utrecht benoemd tot gewoon hoogleraar in de algemene (physische) en de anorganische scheikunde. Deze benoeming was niet zonder slag of stoot verlopen. Cohen wilde zijn benoeming alleen aanvaarden onder voorwaarde dat er een nieuw scheikundig laboratorium zou worden gebouwd. Door zijn persoonlijke contact met Abraham Kuyper, de toenmalige minister van onderwijs, lukte het Cohen het benodigde bedrag van fl 42500.- voor een nieuw laboratorium te verkrijgen. Op 1 april 1903 werd met de bouw ervan begonnen. Cohen aanvaardde zijn ambt op 1 oktober 1903 met een oratie: *Rumor in casa*. Op 16 mei 1904 kon hij het nieuwe laboratorium openen met een rede: *Allotropieën*. Aanwezig was zijn leermeester Van 't Hoff, naar wie het nieuwe laboratorium werd genoemd en aan wie bij die gelegenheid een eredoctoraat in de geneeskunde werd verleend. Ruim tien jaar later kon Cohen een uitbreiding van het laboratorium met een tweede verdieping inwijden met het uitspreken van een rede: *Pia Vota* (24 maart 1916).

Gedurende zijn gehele leven was Cohens wetenschappelijke belangstelling vooral gericht op de studie van de allotropie of - zoals hij dat noemde - de fysische isomerie. Daarnaast hield hij zich bezig met elektrochemische onderzoekingen, dikwijls in nauw verband met zijn studies over de fysische isomerie, maar ook ten behoeve van zijn onderzoekingen over de normaalelementen, en voorts voerde hij jarenlang piëzochemische onderzoekingen uit. Zijn levenswerk was het onderzoek van ‘de electromotorische kracht als maatstaf voor de chemische affiniteit, de galvanische overgangselementen en stabiliteit en instabiliteit van vaste systemen’, aldus zijn collega Kruyt.[72.]

Het bepalen van overgangstemperaturen bij chemische reacties, dat wil zeggen de temperatuur waarbij twee systemen naast elkaar kunnen bestaan en waarbij beneden die temperatuur het ene systeem stabiel is en daarboven het andere, was een van Van 't Hoffs onderzoeksthema's uit zijn Amsterdamse periode. De bepaling van overgangspunten bij chemische reacties vond langs verschillende wegen plaats, waaronder dilatometrisch (het meten van volumeveranderingen) en thermometrisch. In zijn dissertatie voegde Cohen daar een nieuwe methode aan toe. Bij het overgangspunt van twee gecondenseerde systemen, systemen waarbij geen enkele component een variabele concentratie bezit en die een overgangspunt bezitten[73.] , zijn de oplosbaarheden en de dampspanning van de verzadigde oplossing aan elkaar gelijk. Laten we

door twee verzadigde oplossingen van een zout dat verschillende hydraten kan vormen, een elektrische stroom lopen, dan moet deze concentratiestroom nul worden als de zoutoplossingen identiek zijn geworden. Meten we de concentratiestroom bij verschillende temperaturen, dan verandert deze van richting bij het overgangspunt, dat wil zeggen de elektromotorische kracht tussen de twee oplossingen wordt, in aanwezigheid van de bijbehorende vaste fasen, nul. Cohen construeerde hiervoor een concentratiecel met als schema: omkeerbare elektrode / verzadigde oplossing van een zout met de stabiele vaste fase / verzadigde oplossing van hetzelfde zout met de metastabiele fase / omkeerbare elektrode.

In de volgende jaren ontwierp Cohen een aantal gemodificeerde concentratiecellen, door hem overgangselementen genoemd, voor de bepaling van de temperatuur waarbij de overgang plaats vindt. In 1899 construeerde hij een overgangselement met het volgende schema: stabiele metaalelektrode / oplossing van een zout van hetzelfde metaal / metastabiele metaalelektrode.[74.] Dit element was van groot belang bij Cohens onderzoekingen over het verschijnsel van de allotropie, waardoor hij vooral bekend is geworden. In 1822 had de Berlijnse chemicus Eilhard Mitscherlich de kristalvormen van rhombische en monokliene zwavel beschreven en experimenteel aangetoond dat de beide vormen door temperatuurverandering in elkaar kunnen worden omgezet. In 1833 ontdekte hij de beide vormen (geel en rood) van kwikjodide en stelde hij de plotselinge en volledige omzetting vast van de gele in de rode vorm bij afkoelen tot een bepaalde temperatuur. In 1840 definieerde de Zweedse chemicus Jöns Jacob Berzelius dit verschijnsel, dat hij allotropie noemde, als de eigenschap van een stof in verschillende vormen voor te komen.[75.]

Het was Russische tinhandelaren al vroeg bekend dat zuiver tin in een grijs poeder uiteen kon vallen als het aan extreme koude werd blootgesteld. De oorzaak van dit verschijnsel was echter onbekend. In 1868 vestigde Carl Julius Fritzche uit Sint-Petersburg de aandacht op dit verschijnsel. In februari 1868 had hij gehoord dat blokken Bankatin in het magazijn van een handelshuis verwoest waren. Ook een grote voorraad gegoten tinnen uniformknopen, bestemd voor het leger en opgeborgen in een magazijn, was niet meer als zodanig teruggevonden. In plaats van knopen was een vormloze, uiteengevallen massa aangetroffen.

Fritzsche meende dat de oorzaak de exceptionele koude in Sint-Petersburg was, waar in de winter van 1868 op 1869 de temperatuur tot -38 ^{o}C was gedaald. Voorlopig zou er echter geen systematisch onderzoek over deze verandering van het tin worden ondernomen.

Op het laboratorium van Van 't Hoff was Reicher op 13 juli 1883 gepromoveerd over de dilatometrische bepaling van het overgangspunt van rhombische in monokliene zwavel door de toe- of afname van het volume bij verhitting. Jaren later liet Bakhuis Roozeboom zijn gepromoveerde medewerker Cornelis van Eijk jr (1870-1940) een onderzoek beginnen naar de omzetting van tin. Het lukte Van Eijk niet de overgangstemperatuur van wit naar grauw tin te bepalen. Cohen zette het onderzoek met Van Eijk voort en na de benoeming van de laatste als leraar aan de Koninklijke Militaire Academie te Breda ging Cohen er alleen mee verder. Voor de bepaling van het overgangspunt maakte hij gebruik van de in zijn proefschrift beschreven elektrische meetmethode. Tussen 24 juni 1899 en 28 december 1901 deelde Bakhuis Roozeboom de resultaten van de onderzoekingen mee op de zittingen van de Ko-

ninklijke Academie van Wetenschappen.[76.] Het fraaie Amsterdamse onderzoek over de ‘enantiotropie van het tin’ was het uitgangspunt van Cohens verder fysisch-chemisch onderzoek. Om het overgangspunt van de reversibele omzetting van het grauwe in het witte tin te bepalen, gebruikte hij een element waarvan de ene elektrode uit grauw en de andere uit wit tin bestond, terwijl een pinkzoutoplossing $SnCl_4.2NH_4Cl$ als elektrolyt diende: platina / wit tin / 10% pinkzoutoplossing / grauw tin / platina.

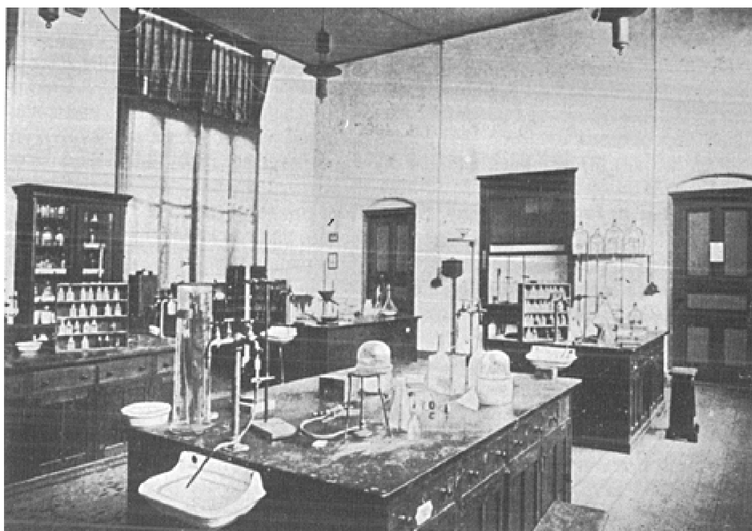
Cohen en Van Eijk toonden aan dat tin een voorbeeld van allotropie is en dat de twee allotrope vormen zeer verschillende fysische eigenschappen bezitten. Er bestaat een overgangspunt waarboven het witte tin en waar beneden het grauwe tin de stabiele modificatie is. Voor het overgangspunt werd zowel elektrisch als dilatometrisch een waarde van 20 °C gevonden.[77.]

Cohens algemene conclusie was ‘dat onze geheele tinwereld zich, met uitzondering van een enkelen warmen dag, voortdurend in metastabielen toestand bevindt’.[78.] Het witte tin zet zich voortdurend om in de grauwe modificatie, met uitzondering op warme dagen als de temperatuur boven 20 °C stijgt. Nader onderzoek leerde dat de omzettingssnelheid van het witte in het grauwe tin met de temperatuur verandert. Ze neemt vanaf -83 °C toe als de temperatuur stijgt, heeft een maximum bij ongeveer - 48 °C en wordt nul bij +20 °C. De omzettingssnelheid wordt vergroot door de aanwezigheid van pinkzout, dat als katalysator werkt. Ook de aanwezigheid van een geringe hoeveelheid grauw tin werkt katalytisch versnellend. De oorzaak van het uiteenvallen van het grauwe tin bleek in een verschil van ongeveer 25% in de soortelijke dichtheid te liggen.

Cohens onderzoek over de allotropie van tin was niet alleen van belang voor de fysische chemie, maar ook voor de techniek. De voorgeschiedenis van het tin bleek voor de omzetting van groot belang te zijn. Tin dat al een paar maal een omzetting had ondergaan, bleek gemakkelijker en sneller te worden omgezet. Dat de tinwereld metastabiel is, terwijl het verschijnsel dat Cohen de ‘tinpest’ noemde, vrij zelden voorkomt, was te verklaren door de vertraging die bij deze omzetting plaats heeft. Tijdens Cohens onderzoekingen bleek overigens dat tinpest, de vorming van wratten en puisten op het metaal, veel meer in industrie en musea voorkwam dan men zich tot dan toe bewust was geweest.

Cohen bleef zijn gehele leven geïnteresseerd in de allotropie van het tin. Op 29 oktober 1934 promoveerde Adrianus Kornelis Wytze Antonius van Lieshout (1906-1954)[79.] bij hem over *De snelheid van de polymorfe omzetting. Nieuwe onderzoekingen over de tinpest*. Door de sterke vertragingen bij de overgang tussen wit en grauw tin bestond er nog altijd grote onzekerheid over het overgangspunt tussen beide modificaties. Van Lieshout wist de omzettingssnelheid sterk te vergroten door herhaaldelijk het tin van de ene in de andere modificatie om te zetten en door thermische en mechanische behandeling toe te passen. Met het zo verkregen ‘actieve tin’ werd het overgangspunt op 13,2 ± 0,1 °C bepaald. Bij later onderzoek bleek bovendien de grote invloed van kleine hoeveelheden van andere metalen op het overgangspunt.

Cohens rede *Allotropieën*, uitgesproken bij de inwijding van het van 't Hoff-laboratorium op 16 mei 1904, bevat het onderzoeksprogramma dat hij in Utrecht met zijn leerlingen wilde uitvoeren: allotropie, elektrochemie en piëzochemie. Het allotropie-



X. De ‘Werkzaal voor Heeren Laboranten’ van het op 16 mei 1904 ingewijde Van 't Hoff-laboratorium te Utrecht.

onderzoek, een onderdeel van de fasenleer, dat zowel theoretisch als technisch zou worden uitgevoerd, leidde Cohen al tot de uitspraak dat met hetgeen tot dan toe bekend was 'het mij niet gewaagd [schijnt] de onderstelling uit te spreken, dat zoo niet alle, dan toch de meeste elementen in allotropische toestanden kunnen voorkomen'.[80.] Een wat voorbarige uitspraak, want behalve het onderzoek aan tin had Cohen alleen gepubliceerd over 'de vermeende identiteit van rood- en geelkwikoxyd' (1899)[81.] en was hij begonnen met een onderzoek over het zogenaamde explosieve antimoon.

In 1855 had de Engelse chemicus George Gore een geconcentreerde oplossing van antimoonchloride in verdund zoutzuur met behulp van een anode van antimoon en een kathode van platina geëlektrolyseerd. Op het platina werd een stof neergeslagen met een metaalachtig voorkomen en een felle glans. Deze stof bleek merkwaardige eigenschappen te bezitten. Bij krassen werd ze warm en dit warmte-effect ging gepaard met de ontwikkeling van witte dampen van antimoonchloride. Cohen toonde aan dat dit komt doordat het oorspronkelijke metaalneerslag een metastabiele modificatie is, die onder warmte-ontwikkeling wordt omgezet in de stabiele modificatie. Daarbij ontwijken er dampen van opgesloten antimoonchloride.

Cohen ontdekte in 1904 met Willem Eduard Ringer (1874-1953), die in 1901 bij Bakhuis Roozeboom was gepromoveerd[82.], en met zijn eigen promovendi Eduard Collins (1868-1945) en Theodorus Strengers (1879-1951)[83.] dat hier sprake was van allotropie. Antimoon heeft twee verschillende modificaties, α en β, waarvan de β-vorm metastabiel is ten opzichte van de α-vorm. Bij elektrolyse van een oplossing van antimoonchloride ontstaat de metastabiele β-modificatie van het metaal. Omzetting in de stabiele β-vorm vindt onder zwakke explosie direct plaats bij krassen of schrapen van het β-antimoon. Omdat dit laatste altijd wat antimoonchloride bevat, ontstaan er tevens witte dampen. In tegenstelling tot de reversibele omzetting van de twee tinmodificaties (enantiotropie), is het antimoon een voorbeeld van een niet-omkeerbare allotropie (monotropie).

Toen Cohen zijn onderzoekingen over tin begon, was het verschijnsel van de allotropie (of polymorfie) van een chemisch element weliswaar algemeen bekend, maar het werd als iets exceptioneels beschouwd en niet als een gewone eigenschap van de elementen. De opheldering die Cohen bij tin had verkregen, leidde tot een systematische studie van de zeer verwarde literatuur die er over het verschijnsel bestond. Een deel ervan bleek toegeschreven te moeten worden aan het gebruik van onzuivere chemicaliën, waartegen Cohen bij zijn eigen experimenten met grote zorg waakte.

Cohen wilde meer voorbeelden van allotropie bestuderen, niet alleen van elementen (metalen en niet-metalen) die in verschillende modificaties voorkomen, maar ook van gevallen waarbij het niet mogelijk was een reversibele omzetting van de modificaties te realiseren (zoals in het geval van fosfor). Het eerste decennium van zijn Utrechtse hoogleraarschap onderzocht Cohen met zijn leerlingen tal van elementen langs dilatometrische weg. Hoofddoel van het onderzoek was vast te stellen of allotropie bij bepaalde stoffen al dan niet voorkwam. In de loop van de jaren richtte de aandacht van Cohen zich meer op de algemeenheid van het verschijnsel en op subtiele allotropieën, waarin de omzettingen voor een deel omkeerbaar zijn. De resultaten van zijn onderzoekingen werden in een groot aantal artikelen en dissertaties vastgelegd:

1908	fosfor	met Jacob Olie jr
1910	telluur	met Johannes Friedrich Kröner
1913	bismut	met Alexander Lambertus Theodorus Moesveld
1913	cadmium	met Willem Derk Helderman
1913	zink	met Helderman
1914	koper	met Helderman
1914	antimoon	met Jan Conrad van den Bos
1915	natrium	met Gerrit de Bruin en Salomon de Wolff

Een aantal van de in de literatuur vermelde gevallen van allotropie bleken dat niet te zijn:

1906	zilver en goud	met Willem Jacob van Heteren
1908	explosieve platinametalen	met Theodorus Strengers
1908	amorf antimoon en bismut	met Olie jr.
1910	lood	met Katsuji Inouye

Cohens systematische onderzoekingen naar de aard en oorzaak van de allotropie, gaf orde aan een wirwar van in de literatuur beschreven feitenmateriaal. Cohen werkte met enkele beproefde, in beginsel zeer eenvoudige meetmethoden, maar het vereiste een taai geduld en doorzettingsvermogen. Het waren nuttige onderzoekingen, die echter weinig bijdroegen tot een meer algemeen inzicht in de verschijnselen van de allotropie. Dit werd geheel anders toen hij met verschillende problemen werd geconfronteerd. Zo bleek in een aantal gevallen de temperatuur van het overgangspunt niet onafhankelijk te zijn van de voorgeschiedenis van de onderzochte stof. De oorzaak bleek dan te liggen in de aanwezigheid van meer dan twee modificaties in het onderzochte element, die dikwijls gelijktijdig werden omgezet. In onderzoekingen met zijn leerling Willem Derk Helderman (1889-1939) over de allotropie van cadmium (1913-1915) bleek dat bij het elektrolytisch neerslaan eerst de bij de gewone temperatuur minst stabiele γ-vorm werd verkegen. Dikwijls werd dit omgezet in β-cadmium, maar soms in α-cadmium. Alle drie modificaties bleken een verschillende potentiaal te bezitten ten opzichte van een cadmiumamalgaamelektrode, waardoor uiteindelijk twee overgangspunten werden gevonden (bij 60 ^{o}C en 95 ^{o}C)

Cohen bleef zijn onderzoekingen over fysische isomerie van elementen en verbindingen voortzetten. Talloze studies verschenen er over andere metalen en later over verbindingen. Onderzocht werden onder meer antimoonjodide (1920), diamant

(1921), tin (1927, 1935) en explosief antimoon (1930). Het onderzoek van de allotropie van vloeistoffen, waarbij we dicht bij pseudo-componenten komen, stond niet alleen op het programma van Smits. Met zijn echtgenote Wilhelmina Abramina Titia de Meester (1899-1989), die op 20 februari 1928 bij hem was gepromoveerd op *De invloed van druk op de reactiesnelheid en de rol van het medium*, onderzocht Cohen de invloed van intensieve droging op vloeistoffen (1930). Met de theoretische opvattingen van zijn Amsterdamse collega Smits was hij het niet eens. Op 29 maart 1933 promoveerde zijn leerling Louis Christiaan Jacobus te Bokhorst op *De vermeende allotropie van vloeibaar nitrobenzol*; op 10 juli 1936 een andere leerling, Sjouke Buy, op *De vermeende allotropie van vloeibaar benzol*.

In de loop der jaren schonk Cohen steeds meer aandacht aan het algemene probleem van de metastabiliteit van de stof. In het geval van enantiotropie is voor iedere modificatie een temperatuurgebied aan te geven waarbinnen die vorm stabiel is (tin, zwavel, cadmium, kwikjodide, ammoniumnitraat), terwijl bij monotropie één van de vormen stabiel is bij alle temperaturen tussen het absolute nulpunt en het smeltpunt van de onderzochte stof. De andere vorm is altijd metastabiel en voortdurend bezig zich in de stabiele om te zetten (antimoon, fosfor, cadmium- en kwiksulfide). In dit geval is er dus geen overgangspunt. Tussen 1914 en 1938 schreef Cohen een groot aantal artikelen over 'de metastabiliteit onzer metaalwereld als gevolg van allotropie en haar beteekenis voor chemie, physica en techniek'[84.] Een van de aspecten die hij daarbij steeds sterk belichtte, was de algemeenheid van het verschijnsel van de allotropie of fysische isomerie. In tegenstelling tot diegenen die de mening verkondigden dat de fysische isomerie eigenlijk een uitzondering is op het normale gedrag van de stof, nam Cohen aan 'daß Polymorphie eine ganz allgemeine Eigenschaft der Materie ist, ja, ich glaube auf Grund meiner Erfahrungen nicht zu weit zu gehen, wenn ich behaupte, daß jeder feste Stoff in zwei oder mehr Modifikationen aufzutreten vermag'.[85.]

Enantiotrope zowel als monotrope modificaties komen volgens Cohen gemengd voor in allerlei vaste materialen. Praktisch alle stoffen kunnen dus in één of meer modificaties optreden, alleen experimentele problemen verhinderen dat we ze ook altijd kunnen aantonen. Wanneer we ons konden beperken tot het erkennen van het bestaan van allotropie als een algemeen verschijnsel, met de beperking dat als regel de andere modificatie alleen met bijzondere experimentele kunstgrepen kan worden verkregen, dan hebben we er in de dagelijkse praktijk van het laboratorium weinig mee te maken. Maar Cohen stelde dat de verschijnselen van de metastabiliteit juist een grote invloed kunnen hebben op de laboratoriumpraktijk, namelijk op de waarde van onze fysische constanten. Wanneer we preparaten zuiveren door omkristalliseren, sublimeren, uitvriezen, destilleren, enz., dan is er altijd de mogelijkheid dat het verkregen product een mengsel is van verschillende fysische isomeren in een niet-constante samenstelling. En dat heeft invloed op de waarden van de fysische constanten. 'Wir wollen nun in unseren weiteren Darlegungen den Nachweis führen, daß unsere bisher bekannten physikalischen (physiko-chemischen) Konstanten fester Stoffe Werte sind, die sich sehr häufig, wenn nicht immer, auf metastabile Gemische beziehen, welche mehrere Modifikationen der betreffenden Stoffe, in unbekanntem Verhältnis mit einander gemischt, enthalten und daß jenen Konstanten somit eine bestimmte Bedeutung nicht zukommt', schreef hij in 1927.[86.]
Cohen stelde zich dan

ook tot doel methoden te ontwikkelen voor de bereiding van chemisch en fysisch zuiver stabiele en metastabiele modificaties en daarvan de fysische constanten te bepalen. Hij was hiermee een van de eersten die een scherp onderscheid maakte tussen de fysische en de chemische zuiverheid van een stof. Vaste stoffen, die uit verschillende modificaties bestaan, mogen chemisch zuiver zijn, maar fysisch zijn het mengsels, die weliswaar niet in evenwicht zijn, maar hardnekkig hun bestaan handhaven en door het toch langzaam omzetten in de andere modificatie met de tijd veranderen.

Het uiterst subtiele en experimenteel moeilijke werk van Cohen leidde er toe dat andere chemici zijn resultaten niet altijd konden reproduceren en aan Cohens conclusies twijfelden. In een onderzoek met zijn belangrijkste medewerker Alexander Lambertus Theodorus Moesveld (1892-1962) over het thalliumpicraat (1920) werden twee enantiotrope modificaties gevonden met een overgangspunt bij 46 ^{o}C. De stabiele vorm bij kamertemperatuur is rood, de stabiele vorm boven 46 ^{o}C is geel. Normaal werd uit een oververzadigde oplossing van thalliumpicraat de gele vorm verkregen, die tijdens het uitkristalliseren gedeeltelijk werd omgezet in de rode vorm. De omzetting bleek sneller te verlopen bij toevoeging van wat amylalcohol, maar soms gebeurde er dan niets. Cohen concludeerde dat dit een voorbeeld is van de belangrijke rol die sporen onzuiverheden bij de bereiding van de metastabiele vorm kunnen hebben, maar het is duidelijk dat het herhalen van zijn voorschriften door andere onderzoekers niet altijd tot dezelfde resultaten voerde.

Behalve allotropische en elektrochemische onderzoekingen, besteedde Cohen vanaf 1909 veel aandacht aan piëzochemische onderzoekingen: de invloed van hoge druk op het verloop van chemische processen. Systematisch werden gecondenseerde systemen tot duizend, later tot vijftienhonderd atmosfeer druk bestudeerd en de invloed van de druk op de reactiesnelheid, het overgangspunt, de oplosbaarheden, diffusiesnelheden en viscositeiten onderzocht. De daarvoor benodigde apparatuur werd in de loop van de jaren steeds meer verfijnd. In 1919 publiceerde Cohen met zijn leerling Willem Schut (1881-1962) het samenvattende boek: *Piezochemie kondensierter Systeme*, waarvan het eerste gedeelte de dissertatie was waarop Schut op 20 december 1912 bij Cohen was gepromoveerd: *Piëzochemie der gecondenseerde systemen*. Een goed overzicht van Cohens werk geven de colleges die hij van februari tot mei 1920 aan Cornell University in Ithaca heeft gehouden en gepubliceerd heeft onder de titel *Physico-chemical Metamorphosis and some Problems in Piezochemistry* (1926). In 1927 verscheen zijn *The Influence of Pressure upon Chemical Transformations*.

Na Cohens dood gaf Kruyt de volgende karakterisering van hem als chemicus: 'Ernst Cohen was boven alles een experimentator; de natuur haar geheimen af te dwingen was zijn vreugde, maar het afdwingen zelf bekoorde hem meer dan het weten der geheimen. Hij voelde zich het gelukkigst in het laboratorium, theorie bekoorde hem weinig, college geven beschouwde hij als een onvermijdelijk kwaad van het ambt. Hij was een meester op experimenteel gebied, liet zich door geen moeilijkheden afschrikken, en was uiterst scherpzinnig in het uitdenken van methoden'.[87.]

Behalve voor chemisch onderzoek had Cohen ook grote belangstelling voor de geschiedenis van zijn vak en heeft er in de loop van zijn leven bijzonder veel tijd aan

besteed. In het openingscollege dat hij in 1926 aan Cornell University gaf, wees hij onder meer op het nut van een bibliotheek voor studenten. 'In this library he should find a place for books which treat of the history of science, as well as for those which I should like to call the "belles lettres" of science [...]. Historical studies are part and parcel of a scientific education. Ernst Mach, with many others, has not only drawn attention to this fact, but, suiting the action to the word, has left us many an essay which bears witness to the truth of this statement. The man who studies the history of science will get a better insight into the problems that are nowadays a center of interest; nay, he will be convinced that: [...]

'tis delightful to transfuse yourself
into the spirit of the ages of past;
to see how wise men thought in olden time.

And when he reads the biographies of those "wise men", in which are described the ways in which knowledge was obtained, and in which the obstacles are shown which had to be conquered, he will learn to think humbly of himself and not overrate his own accomplishments'.[88.]

Dit lange citaat laat Cohens eigen belangstelling duidelijk zien. De nadruk lag bij hem op de biografische waarde van de geschiedschrijving. Hij was een groot verzamelaar van boeken, portretten en karikaturen. De wanden van het Van 't Hoff-laboratorium hingen vol met portretten van wetenschappers. Behalve tal van biografische artikelen over Nederlandse chemici, schreef Cohen *Das Lachgas. Eine chemischkultur-historische Studie* (1907), *Herman Boerhaave en zijne beteekenis voor de chemie* (1918) en zijn bigrafie: *Jacobus Henricus van 't Hoff. Sein Leben und Wirken* (1912).

Het ging Cohen in zijn historisch werk niet zozeer om de historische ontwikkeling van chemische theorieën, maar vooral om het biografische en anekdotische. Net zoals hij in zijn wetenschappelijk werk uit de literatuur alle bijzonderheden wist te halen, wist hij in zijn historisch werk tal van onbekende feiten uit de vergetelheid te onttrekken. De 'histoire intime' van de geschiedenis van de scheikunde blijkt fraai uit zijn reeks artikelen in het *Chemisch Weekblad* onder de titel: 'Chemisch-historische aanteekeningen'. De eerste stamt uit 1906 en geeft bijzonderheden over de laboratoria van Priestley, Davy en Faraday; de laatste, nummer 44, stamt uit 1943, een jaar voor zijn dood, en is gewijd aan de nomenclatuur van enige organische zuren. 'Deze laatste verhandeling stond om politieke redenen op naam van mevr. W.A.T. Cohen - de Meester, behoort echter volkomen tot het oeuvre van Cohen', aldus een voetnoot van de redactie van het *Chemisch Weekblad*.[89.]

Cohen was een typische positivist. In zijn wetenschappelijk werk stond niets vast dat niet experimenteel was geverifieerd. In zijn historisch werk ontbreekt iedere vorm van wijsgerige bespiegeling. Hij heeft 'uiterst scherpzinnig speurwerk op dit gebied gedaan; hij beheerste de methodiek van historische naspeuring als weinigen, hij was op dit gebied dezelfde, die hij in het laboratorium was'.[90.] Het ging Cohen om het beschrijven van feiten, niet om de historisch-wijsgerige en culturele context van de geschiedenis van de scheikunde. Zijn biografie en zijn talrijke artikelen over zijn leermeester Van 't Hoff bevatten vrijwel alles wat over het leven van zijn geliefde vriend was te vinden, maar men krijgt er nauwelijks een idee uit van de historische plaats en betekenis van Van 't Hoff voor de wetenschap van zijn tijd.

Cohen was behalve op wetenschappelijk gebied ook bijzonder organisatorisch actief. Hij was de eerste voorzitter van de Nederlandsche Chemische Vereeniging (1903), gaf de stoot tot de oprichting van de Historische Commissie van die Vereniging en was voorzitter van de Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquëe (1925-1928), waaraan hij vanaf de oprichting in 1919 actief had medegewerkt. Zijn verdiensten vonden onder meer erkenning in het lidmaatschap van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen (1913) en het verkrijgen van tal van eredoctoraten.

Cohen bleef hoogleraar in Utrecht en directeur van het Van 't Hoff-laboratorium tot zijn emeritaat op 26 mei 1939. Hij bouwde in Utrecht een van 's werelds grootste centra van onderwijs en onderzoek in de fysische chemie op. Hij was - zoals reeds opgemerkt - boven alles experimentator en vond weinig bekoring in de theorie. Zijn leerlingen bracht hij in aanraking met steeds nauwkeuriger experimentele methoden. Cohen was de belangrijkste leerling van Van 't Hoff en werkte geheel in diens thermodynamische gedachtengang uit zijn Amsterdamse periode. Als hoogleraar stond het geven van colleges op de tweede plaats. Het experimentele onderzoek was voor Cohen het wezen van een universitaire scheikundestudie. Experiment en zelfstudie vormden de weg waarlangs hij zijn studenten probeerde te stuwen.[91.] Zijn laatste levensjaren werden beheerst door de Duitse bezetting. Tussen 6 februari en 10 juni 1943 verbleef hij, als jood, in het concentratiekamp Vught. Op 3 maart 1944 werd Cohen vanuit Westerbork, waar hij op 1 maart naar toe was gebracht, getransporteerd naar het uitroeiingskamp Auschwitz, waar hij vermoedelijk op 5 maart in de gaskamer is vermoord.[92.] Deze reconstructie van Kruyt, vlak na de bevrijding, wordt echter weersproken door het recent gepubliceerde gedenkboek *In memoriam*, waarin vermeld wordt dat Cohen op 16 mei 1945 in Bergen-Belsen is overleden.[93.] Nog twee weken voor zijn dood deed deze overigens nog een korte mededeling voor het Utrechtse hooglerarengezelschap *Amicitia Naturae Interpres*. Op 12 februari 1944 hield hij in het fysisch laboratorium een ‘korte beschouwing over de vraag, of aan den dood van Lavoisier, die in 1794 is terechtgesteld, zijn leerling De Fourcroy medeplichtig is geweest. Hij bespreekt een door hem ontdekt artikel in een oude jaargang van de “Archives de pharmacie”, dat nieuw licht op deze zaak werpt, en komt tot de conclusie, dat er veel voor de schuld van De Fourcroy pleit’.[94.] Tot zijn laatste levensmaand bleef Cohen wetenschappelijk, vooral historisch, actief. Hij kon zich niet voorstellen dat hij, die zoveel verdiensten had voor de internationale wetenschap en zoveel Duitse vrienden had, als jood zou worden vervolgd. Maar ook hij werd een slachtoffer van het Naziregime.

Eindnoten:

1 Vgl.: G.J. Hoytink, ‘Physical chemistry in the Netherlands after van 't Hoff’, *Annual Review of Physical Chemistry* 21(1970)1-16; J.A.A. Ketelaar, ‘50 jaar Physische Chemie’, *Chemisch Weekblad* 51(1955)331-344
2 F.E.C. Scheffer, *Chemisch Weekblad* 20(1923)222-225 (223)
3 H.M.G. Prick, ‘Waar mocht uw ziel haar vreugden halen? J.J. van Laar, slippedrager van de Tachtigers’, *Maatstaf* 40(1992)49-64
4 H.R. Kruyt, in: *Geestelijk Nederland 1920-1940*. Onder redactie van K.F. Proost en Jan Romein (Amsterdam, Antwerpen, 1948), deel II, p. 228
5 J.J. van Laar, *Chemisch Weekblad* 18(1921)605
6 Over Jorissen: *Chemisch Weekblad* 18(1921)591-610; 30(1933)614-618; 36(1939)845-855; 37(1940)410-412 en 55(1959)589

7 J. Böeseken, *Ontwikkeling van enkele chemische problemen* (Groningen, 1906), p. 14
8 H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 139-144
9 H.W. Bakhuis Roozeboom, *De tegenwoordige stand van de problemen der chemie* (Leiden, 1904), p. 17
10 H.W. Bakhuis Roozeboom, *De tegenwoordige stand van de problemen der chemie*, pp. 26-27
11 H.W. Bakhuis Roozeboom, *De tegenwoordige stand van de problemen der chemie*, p. 27
12 H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 147-158
13 H.W. Bakhuis Roozeboom, *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (Braunschweig, 1901). Erstes Heft, p. IX
14 E.P. van Emmerik, *J.J. van Laar (1860-1938). A mathematical chemist*. Dissertatie Delft 1991
15 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 36(1939)19-20 (19)
16 A.E. Korvezee, *Leven en werken van Dr. J.J. van Laar* (Delft, 1954), p. 17
17 H.A.M. Snelders, 'The Dutch physical chemist J.J. van Laar (1860-1938) versus J.H. van 't Hoff's osmotic school', *Centaurus* 29(1986)53-71
18 J.R. Partington, *A History of Chemistry* (London, 1964), deel IV, p. 616
19 J.J. van Laar, *Chemisch Weekblad* 24(1927)150-158 en 302-311 (150-153)
20 E. Cohen, *Zeitschrift für Elektrochemie* 17(1911)143-145 en *Chemisch Weekblad* 8(1911)51-52; H.R. Kruyt, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 84(1913)498-500. Vgl.: E.P. van Emmerik, *J.J. van Laar (1860-1938). A mathematical chemist*, pp. 115-151
21 J.A.A. Ketelaar, '50 Jaar Physische Chemie', *Chemisch Weekblad* 51(1955)331-334 (332)
22 H.W. Bakhuis Roozeboom, *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (Braunschweig, 1904). Zweites Heft. Erster Teil, p. V
23 Over Schreinemakers: *Chemisch Weekblad* 20(1923)370-374, 23(1926)425-427 en 31(1934)438-439 en *Jaarboek der Koninklijke Akademie der Wetenschappen* 1945-1946, pp. 209-214
24 F.A.H. Schreinemakers, *Een blik in de ontwikkeling der scheikunde* (Leiden, 1901), p. 3
25 F.A.H. Schreinemakers, *Een blik in de ontwikkeling der scheikunde*, p. 9
26 F.A.H. Schreinemakers, *Een blik in de ontwikkeling der scheikunde*, p. 22
27 F.A.H. Schreinemakers, *Een blik in de ontwikkeling der scheikunde*, pp. 24-25
28 F.G. Donnan, *Chemisch Weekblad* 23(1926)423
29 F.A.H. Schreinemakers, *Chemisch Weekblad* 1(1903-1904)329-337. Oorspronkelijk in *Zeitschrift für physikalische Chemie* 11(1893)75-109 (81)
30 F.A.H. Schreinemakers, 'Gleichgewichte in quaternären Systeme', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 65(1909)553
31 H.A. Lorentz, *Chemisch Weekblad* 13(1916)1235
32 E.J. Dijksterhuis, 'Aristoteles reviviscens', *De Gids* 104(1940), deel I, pp. 51-66 en R. Hooykaas, 'Het onstaan van de chemische atoomleer', *Tijdschrift voor Philosophie* 9(1947)63-136. In 1940 verscheen van Hoenens *Philosophie der anorganische natuur* een tweede, in 1947 een derde druk.
33 F.G. Donnan, *Nature* 108(1921)171
34 Over Smits: *Chemisch Weekblad* 3(1906)582-583; 28(1931)555-566; 37(1940)430-436; 45(1949)149-151
35 A. Smits, *De chemie in hare oude en nieuwe banen* (Delft, 1907), p. 8
36 A. Smits, *De chemie in hare oude en nieuwe banen*, p. 17
37 A. Smits, *De chemie in hare oude en nieuwe banen*, p. 20
38 A. Smits, *De chemie in hare oude en nieuwe banen*, p. 25
39 A. Smits, *Chemisch Weekblad* 37(1940)430-433 (431)
40. A. Smits, 'Allotropie en innerlijk evenwicht', *Chemisch Weekblad* 7 (1910)79-83, 155-166 (79). Vgl.: 'Een nieuwe theorie van het verschijnsel allotropie', *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 18(1910)808-818
41. A. Smits, *Chemisch Weekblad* 7(1910)82
42. H.R. Kruyt, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 89(1915)464-466
43. H.B. Baker, 'Change of properties of substances on drying', *Journal of the Chemical Society* 121(1922)568-574
44. A. Smits, 'De samengesteldheid van de enkelvoudige stof, aangetoond door intensieve droging', *Chemisch Weekblad* 21(1924)594-600 (596)
45. F. Zernike, *Chemisch Weekblad* 36(1939)514-515
46. A. Smits, *Die Theorie der Komplexität und der Allotropie* (Berlijn, 1938), p. 18
47. H.R. Kruyt, in: *Geestelijk Nederland 1920-1940*, deel II, p. 231
48. J.A.A. Ketelaar, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandsechemie deze eeuw groot hebben gemaakt*, (Delft, 1993), p. 92
49. A. Smits, *Chemisch Weekblad* 37(1940)431
50. A. Smits, *Chemisch Weekblad* 37(1940)432

51. G. Meyer promoveerde op 28 juni 1922 op het proefschrift *Over de geldigheid der verdeelingswet bij het evenwicht tusschen mengkristallen en hun oplossingen*.
52. H. Gerding promoveerde op 9 april 1930 op het proefschrift *Onderzoekingen over het electrochemisch en lichtelectrisch gedrag van aluminium en aluminiumamalgamen*.
53. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 50(1954)752
54. J.L. Meijering, *Chemisch Weekblad* 50(1954)754-756 (755). Meijering was van 1961 tot 1980 hoogleraar in Delft, waar hij o.a. fasenleer doceerde.
55. Over Reinders; *Chemisch Weekblad* 21(1924)430-433; 30(1933)114-115; 36(1939)451-456; 45(1949)589 en 47(1951)865-866
56. Over Scheffer: *Chemisch Weekblad* 14(1917)904-905; 49(1953)505-506 en 50(1954)625-629
57. F.E.C. Scheffer, *Chemisch Weekblad* 7(1910)917-933
58. Ph. Kohnstamm en F.E.C. Scheffer, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis-en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 19(1911)878-894; F.E.C. Scheffer, *idem* 21(1913)1134-1143
59. W.F. Brandsma, *Reactiesnelheden.*Dissertatie Delft 17 december 1925. Zie ook:Brandsma, 'Evenwichten en reactiesnelheden', *Chemisch Weekblad* 19(1922)318-322 en Brandsma en Scheffer, 'On reaction velocities',*Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 45(1926)522-534. Brandsma was van 1934-1957 hoogleraar in de mechanische technologie en de metallografie aan de TH Delft en van 1957-1962 aan de TH Eindhoven.
60. Zie de dissertatie van Antoine Eugène Lacomblé *Reactiesnelheid en katalyse* (Leiden, 28 mei 1920; promotor Schreinemakers) en het artikel van W. Adriani, 'Theorieën der reactiesnelheid', Chemisch Weekblad 18(1921)579-583 en 613-615
61. J.A. Christiansen en H.A. Kramers, 'Über die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 104(1923)451-471
62. G.A.M. Diepen promoveerde op *De oplosbaarheid van vaste stoffen in superkritische gassen* (9 juli 1947); C.A. van Gunst op *De oplosbaarheid van mengsels van vaste stoffen in superkritische gassen* (18 oktober 1950)
63. Over Aten sr: *Chemisch Weekblad* 46(1950)117-119
64. Over Büchner: *Chemisch Weekblad* 42(1946)109 en 46(1950)413-417
65. H.R. Kruyt, *Geestelijk Nederland* 1920-1940, deel II, p. 231
66. E.H. Buchner, *Chemisch Weekblad* 37(1940)433
67. Zie over Cohen, behalve de verschillende herdenkingsartikelen in *Chemisch Weekblad* 15(1918)1404-1451; 24(1927)474-489; 36(1939)515-519 en 41(1945)126-128: A.L.Th Moesveld, 'The scientific work of Ernst Cohen', *Journal of Chemical Education* 25(1948)308-314; F.G. Donnan, 'Ernst Julius Cohen 1869-1944', *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society* 5(1948)667-687 en H.R. Kruyt, 'Levensbericht van Ernest Julius Cohen (7 Maart 1869 - ? Maart 1944)', *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1949-1950 (1950), pp. 265-274. Een volledige bibliografie staat in *Chemisch Weekblad* 15(1918)1452-1470; 24(1927)489-493; 36(1939)519-522 en 41(1945)128-129.
68. H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 113-146
69. E. Cohen, 'Experimentaluntersuchung über die Dissociation gelöster Körper in Alkohol-Wassergemischen', *Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijke Wijsbegeerte te Rotterdam* (2)4(1897), tweede stuk, pp. 1-61
70. J.E. Enklaar, 'De vacantie-cursus te Amsterdam', *Album der Natuur* 1899, pp. 193-207 en 230-246. Zie ook:G. Doyer van Cleeff, 'Vacantie-cursus te Amsterdam', *idem*, pp. 353-358 (door Cohen van 21-23 augustus 1899 gegeven)
71. H.A.M. Snelders, 'J.H. van 't Hoff en de toepassing der physische scheikunde in de medische wetenschappen', *Gewina. Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 16(1993)18-35
72. H.R. Kruyt, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1949-1950, p. 267
73. Vgl.: J.H. van 't Hoff, *Études de dynamique chimique* (Amsterdam, 1884), p. 139 ff.
74. E. Cohen, 'Eine neue Art Umwandlungselemente (sechste Art)', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 30(1899)623-627
75. J.J. Berzelius, *Jahres-Bericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften* 20(1841), deel II, p. 13
76. E. Cohen, 'De enantiotropie van het tin', *Verslag van de gewone vergaderingen der wisen natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 8(1899)36-40 en 102-106 (met C. van Eijk), 282-286; 8(1900)539-543; 9(1900)38-43; 9(1901) 435-438 en 10(1902)438-439.
77. Later (1908) vond Cohen voor het overgangspunt de waarde 18 ^{O}C in 1927 met zijn leerling Kornelis Douwes Dekker een waarde tussen 12 ^{O}C en 14,3 ^{O}C (volgens de onderzoekers waarschijnlijk 13 ^{O}C) en pas in 1935 met een andere leerling, Adrianus Kornelis Wytze Antonius van Lieshout, de waarde 13,2±0,1^{O}C.

78. E. Cohen en C. van Eijk, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 8(1899)40
79. J.Th.G. Overbeek, *Chemisch Weekblad* 51(1954)195-196
80. E. Cohen, *Allotropieën* (Utrecht, 1904), p. 24
81. E. Cohen *Verslag van de gewone vergadering der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 8(1899)287-295 en 8(1900)468-470
82. W.E. Ringer, *Over mengsels van zwavel en seleen*. Dissertatie Amsterdam 3 juli 1901
83. E. Collins, *Physisch-chemische studiën over het explosive antimoon*. Dissertatie Utrecht 17 december 1903; Th. Strengers, *De explosive platinamentalen*. Dissertatie Utrecht 3 juli 1907
84. De artikelen verschenen in de *Verslagen van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* en tegelijk in Duitse vertaling in het *Zeitschrift für physikalische Chemie*.
85. E. Cohen, *Physikalisch-chemische Metamorphose und einige piezochemische Probleme* (Leipzig, 1927), p. 27
86. E.Cohen, *Physikalisch-chemische Metamorphose*, p. 28
87. H.R. Kruyt, *Jaarboek der Koniklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1949-1950, p. 266
88. E. Cohen, 'Quo vadimus', *Science* 63(1926)407-414 (411)
89. *Chemisch Weekblad* 41(1945)129 voetnoot
90. H.R. Kruyt, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1949-1950, p. 273
91. H.R. Kruyt, 'Ernst Cohen als directeur van het van 't Hoff-laboratorium', *Chemisch Weekblad* 24(1927)477-478
92. H.R. Kruyt, 'In Memoriam Ernst Cohen', *Chemisch Weekblad* 41(1945) 126-128. Zie ook: J. Alingh Prins en T. van der Linden, *idem* 41(1945)97
93. *In Memoriam* (Den Haag, 1995), p. 124
94. *Notulenboek XIII*. Archief A.N.I. (berustende bij de secretaris)

IV. Fysische chemie - II

Colloïdchemie

In het populair-wetenschappelijke tijdschrift *Album der Natuur* van 1904 had de Utrechtse scheikundeleraar Johannes Elisa Enklaar (1847-1910) naar aanleiding van het colloïdchemisch werk van Jacob Maarten van Bemmelen een artikel gepubliceerd over ‘de colloïdaaltoestand der stof’.[1.] Vijf jaar later kwam hij hierop terug in een artikel over ‘de jongste tak der physische scheikunde’[2.], waarin hij constateerde dat hij niet had kunnen vermoeden, dat de colloïdchemie ‘in een gering aantal jaren zou aangroeien tot een nieuwen tak der physisch-chemische wetenschap’. Tal van chemici werken thans aan ‘de jonge chemie der colloïden of capillairchemie’ en het vak heeft zelfs een eigen tijdschrift: *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide*.

In ons land is baanbrekend werk verricht op het gebied van de colloïdchemie, een discipline waarvan de Leidse hoogleraar Jacob Maarten van Bemmelen (1830-1911) tegen het einde van de vorige eeuw met zijn onderzoekingen over de adsorptie van de akkeraarde een van de grondleggers was. In dat verband onderzocht hij uitvoerig het kiezelzuurgel. De vooruitgang van de colloïdchemie verliep echter langzaam. ‘De belangstelling voor het wezen der ware oplossingen nam de belangstelling der physische chemie zo zeer in beslag, dat er weinig ruimte overbleef voor dat der kolloïden’, aldus Kruyt in zijn levensbericht van de Duitse chemicus Herbert Freundlich[3.], die in de drie drukken van zijn grote leerboek *Kapillarchemie* (1909 met tweede druk in 1922 en derde druk in 1930-1932) de snelle ontwikkeling van de colloïdchemie in het begin van deze eeuw had neergelegd. In ons land was het Kruyt die de grondlegger van de moderne colloïdchemie zou worden. Hij blies deze discipline niet alleen nieuw leven in, maar vormde in Utrecht een school waar talrijke chemici werden opgeleid. ‘Kruyt heeft de kunst verstaan, om buiten het enge vakgebied de belengstelling te wekken voor de colloïden, ook bij biologen en medici’, aldus H.J. Backer in 1953.[4.] En Kruyts leerling en opvolger J.Th.G. Overbeek schreef in zijn memoires dat de colloïdchemie in Nederland ‘relatief sterk ontwikkeld [is]. Internationaal spelen wij al vele decennia mee in de ere-divisie, wij horen bij de top-tien. De eerste vraag is: hoe is dat zo gekomen? Men moet dat ongetwijfeld vooral toeschrijven aan de grote invloed die Kruyt gehad heeft [...], maar daarnaast speelde de betekenis van de colloïdchemie in de industrie en de op dit gebied goede relaties tussen. Universiteit en Industrie een belangrijke rol’.[5.] Kruyt had al vroeg een directe bemoeienis met de industrie. Al in 1918 werd hij wetenschappelijk adviseur bij de Lijm- en Gelatinefabriek in Delft, spoedig gevolgd door eenzelfde functie bij de Hollandsche Kunstzijde

Industrie in Breda en later onder meer bij de Nederlandsche Linoleumfabriek in Krommenie. We moeten ons daarbij realiseren dat in die tijd veruit de meeste afgestudeerde chemici het bedrijfsleven ingingen. Een klein aantal werd leraar en slechts enkelen bleven aan de universiteit verbonden.

Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959)

Toen Kruyt in 1946 afscheid nam als hoogleraar in de fysische scheikunde aan de Utrechtse universiteit, was hij 'sinds jaren de leidende figuur van de colloidchemie in Nederland [...], en [stond] ook internationaal op het allereerste plan'. Hij was 64 jaar oud en zag 'in de organisatie van het toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek een taak [...], die hem dringender roept dan de universiteit waar hij toch slechts noode gemist zal worden', aldus Overbeek.[6.]

Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959) had in Amsterdam scheikunde gestudeerd (1901-1906) en was als assistent van Bakhuis Roozeboom bij hem begonnen met zijn promotieonderzoek.[7.] Na het overlijden van zijn promotor in 1907 ging hij naar Utrecht waar hij op 25 juni 1908 bij E. Cohen promoveerde op het proefschrift *De dynamische allotropie der zwavel*. In het voorwoord zegt hij dank aan zijn leermeesters: 'aan Prof. van der Waals, wiens inleidend college en dat over de thermodynamica ik beschouw als een kostbaar element in mijn opleiding; aan den heer van Laar, die in college en gesprek mij menig schoonen blik heeft doen werpen in de mathematische behandeling van physisch-chemische vraagstukken. Maar bovenal vervullen mij gevoelens van groote vereering en innigen dank tegenover Prof. Bakhuis Roozeboom, welke ik hier niet zal trachten te uiten. De gedachte aan zijn beminnelijken persoon en aan zijn machtig genie, van welke beide ik als zijn leerling en, helaas, slechts korten tijd, als zijn assistent zoo ruim heb mogen genieten, vormt de heerlijkste herinnering mijner studentenjaren'. De dissertatie is een fasentheoretisch onderzoek geheel in de geest van zijn leermeester: 'van hem [heb] ik de liefde geleerd voor den algemeenen gedachtengang, die de achtergrond voor elke probleemstelling moet zijn'.[8.] .

Kruyts carrière voltrok zich geheel in Utrecht, waar hij 1909 privaatdocent in de fasenleer werd. In de cursus 1910-1911 was hij bovendien tijdelijk lector in Groningen om onderwijs te geven in de propedeutische chemie. In 1912 kreeg hij in Utrecht de persoonlijke titel van lector in de fasenleer, in 1916 volgde zijn benoeming tot buitengewoon en in 1921 tot gewoon hoogleraar in de fysische chemie. Het hoogleraarsambt aanvaardde hij op 17 mei 1916 met een rede *Algemeene theorie en bizondere ervaring*. Zoals gezegd legde Kruyt in 1946 zijn hoogleraarschap neer en was tot 1953 voorzitter van de Centrale Organisatie voor het Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO.[9.] Achteraf een begrijpelijke overgang. Kruyt was vanaf zijn studententijd sterk in maatschappelijke problemen geïnteresseerd en had naast zijn wetenschappelijk werk talrijke leidinggevende functies vervuld. Hij was al vroeg diep doordrongen van het belang dat de natuurwetenschap en de industrie voor elkaar hebben. In 1916 publiceerde hij een eerste artikel over 'Industrie en Wetenschap'[10.] en in 1918 pleitte hij als voorzitter van de Nederlandsche Chemische Vereeniging voor een ' Samenwerking van wetenschap en industrie in Nederland '.[11.] In 1923 hield hij een voordracht over 'Wetenschappelijk onderzoek en algemeen belang'.[12.] In een brochure *Hooge School en Maatschappij* (1931) brak hij een lans voor een universiteit die nauw met de maatschappelijke werkelijkheid samenhangt.



XI. Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959), lector fasenleer in Groningen (1910-1911) en in Utrecht (1912-1916), waar hij van 1916 tot 1946 hoogleraar fysische chemie was. Hij was een van de grondleggers van de moderne colloïdchemie. Na zijn hoogleraarschap was hij van 1946 tot 1953 voorzitter van TNO.

Kruyt werkte met grote toewijding aan de ontwikkeling van TNO, eerst als secretaris van de Commissie-Went (1927), die de mogelijkheden moest onderzoeken voor een betere coördinatie van het toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek in ons land. Na het tot stand komen van de wet betreffende de 'Nederlandsche Centrale Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek' (1930) in verschillende functies culminerend in het voorzitterschap (1946-1953). Met de bioloog F.A.F.C. Went (1863-1935) verbond Kruyt 'deze gemeenschappelijke gedachte: voor een hoogleeraar is nummer een het wetenschappelijk werk, direct daarop volgt de vorming van de studenten tot wetenschappelijk bekwame werkers, maar er is een derde niet minder belangrijke plicht: de zorg voor de maatschappelijke doorwerking der wetenschap'.[13.]

Kruyt was een van de grondleggers van de moderne colloödchemie. Met Bakhuis Roozeboom was hij 'grondvester van een tak van fysische chemie, die door het werk van hen en hun scholen ontwikkeld en van Nederland uit over de wereld verspreid werd. Beiden trokken zij de besten als hun leerlingen aan, vormden hen en hadden op deze wijze grote invloed op chemisch Nederland van hun tijd'.[14.] De resultaten van zijn experimentele en theoretische onderzoekingen met zijn talrijke leerlingen vatte hij samen in het voor die tijd uitstekende leerboek *Colloids. A Textbook*, waarvan de eerste druk in 1927 verscheen (van de tweede uitgebreide druk, 1930, verschenen een Russische, 1932, en een Franse, 1933, vertaling). Voor zijn studenten schreef hij een vele malen herdrukte *Inleiding tot de physische chemie, de kolloïdchemie in het bizonder: Voor biologen en medici* (1924), waarvan in 1926 een Duitse, in 1931 een Russische en in 1961 een Franse vertaling verscheen.

Hoe Kruyt tot de colloïdchemie is gekomen, heeft hij in zijn afscheidscollege als hoogleraar op 20 september 1946 uitvoerig verteld.[15.] Na zijn promotie hield hij zich, als assistent van Cohen, bezig met elektrochemie en werkte in 1910 bij Gustav Tammann in Göttingen om zich op de hoogte te stellen van diens werk over heterogene evenwichten van metalen, in het bijzonder van de techniek van de thermische analyse bij metaallegeringen, een onderwerp waarvoor hij belangstelling had gekregen en dat als hulpmiddel kon worden gebruikt om fasenovergangen (met hun warmte-effect) op te sporen. 'Maar het liep anders. Ik had in 1909 voor het eerst een artikel van Lottermoser over kolloidchemische problemen gelezen; in hetzelfde jaar verscheen de eerste druk van Freundlich's Kapillarchemie en Wo Ostwald's Grundriss der Kolloidchemie. Gedurende den cursus 1910-1911 was ik tijdelijk lector aan de Groningsche universiteit (ter vervanging van Prof. Jaeger, die dat jaar in Washington werkte) en bij mijn wekelijks heen en weer reizen las ik die beide boeken door'.[16.]

De colloïdchemie fascineerde Kruyt vooral om de vraag hoe de colloïden in het systeem van de fasenleer van zijn leermeester pasten. Zijn het homogene systemen of heterogene systemen met als deeltjes één fase en de vloeistof, waarin zij zweven, als tweede fase? In Göttingen had Kruyt bij Richard Zsigmondy de ultramicroscoop gezien, waarmee colloïdale deeltjes zo fraai kunnen worden waargenomen. Dit alles 'trok mij naar dit nieuwe gebied, dat nog zoo vol problemen zat, in tegenstelling tot de phasenleer, die alleen nog maar om verdere toepassing vroeg (het principieel belangrijkste daarvan was trouwens ook alreeds gedaan) en waarvan de grondtheorie zelfs eigenlijk al klassiek was'.[17.]

In 1912 ging Kruyt enkele weken bij Freundlich in Brunswijk werken en Cohen gaf hem in Utrecht de gelegenheid om op het Van 't Hoff-laboratorium een colloïdchemisch laboratorium op te bouwen. Kruyt was toen juist lector in de fasenleer geworden, maar gaf direct colleges colloïdchemie en verwisselde zijn fasentheoretisch werk voor colloïdchemisch onderzoek. Vanaf het begin was 'de gedachte bij mij levendig [...], dat een inzicht in de dynamica der kolloiden alleen langs den weg der electrochemie te vinden was; daardoor heeft de electrochemie der kolloiden altijd centraal gestaan in het werk van mijn instituut. Dat heeft ook tot andere dan electrokinetische onderzoekingen in engeren zin geleid, zooals die over dielectrische waarden van solen [...] en die over de transportgetallen [...]'. [18.] In het onderzoek van Kruyt en zijn Utrechtse school stond vanaf het begin centraal de vraag naar de stabiliteit van colloïdale oplossingen, naar het inzicht in hun overgang in de gevlokte, gegelatineerde, gecoacerveerde toestand. Om dit probleem op te lossen was onderzoek van de elektrische dubbellaag van groot belang. Water was toendertijd het algemeen gebruikte dispersiemiddel (alleen rubber was een van de weinige voorbeelden van een colloïd in een apolair oplosmiddel) en in water zijn de meeste grensvlakken geladen, vandaar de grote rol van de elektrische dubbellaag. Met zijn leerlingen onderzocht Kruyt de stabiliteit van hydrofobe solen en na 1920 ook de hydrofiele solen. Hij zocht daarbij naar een eenvoudig model om er de gerichte diffusie door een biologisch membraan aan te onderzoeken en vond dat een agargel hier mogelijk de beste kansen bood. Dit leidde tot de dissertatie van Hendrik Gerard de Jong, die op 6 juni 1921 promoveerde op *Het agarsol. Bijdrage tot de kennis van den emulsoiden toestand*. Kruyt zei daarover in zijn afscheidscollege: 'Het begint [n.l. 'het vraagstuk der hydrophiele kolloiden'] uiterlijk met de meesterlijke dissertatie van H.G. de Jong (later Bungenberg de Jong), maar de samenwerking met de Lijm- en Gelatinefabriek Delft, die ik in 1918 begonnen was, vormde eigenlijk de inleiding. Ik houd altijd van modelproeven; de hydrophoben waren voor mij model-onderzoekingen voor de zooveel ingewikkelder hydrophielen geweest, nu wilde ik niet met een amphotair eiwit beginnen en zoo kwam na eenige voorproeven de Jong op de agar'. [19.]

De eerste publikaties van Kruyt gingen over 'de invloed van oppervlak-aktieve stoffen op de stabiliteit van suspensoïden' , namelijk lagere alcoholen op arseentrisulfidesolen (1913) en 'stroomingspotentialen van elektrolyt-oplossingen', de toen meest geschikte methode om grensvlakpotentialen te meten (de zêta-potentiaal) en 'elektrische lading en grenswaarde bij kolloïden' (beide uit 1914). Hiermee waren de twee onderwerpen voor Kruyts onderzoeksprogramma gegeven: stabiliteit en lading van colloïden. De onderzoekingen leidden op 16 april 1918 tot de eerste promotie: Jacobus van der Spek promoveerde op een *Bijdrage tot de kennis van het uitvlokkingsproces*, waarin het verband tussen de grenswaarde (de elektrolytconcentratie die het colloïd in een bepaalde tijd volkomen doet neerslaan) en de concentratie van het sol (het negatieve As_2S_3- en het positieve Fe_2O_3-sol) werd onderzocht. Het mechanisme van het uitvlokkingsproces werd verklaard met de begrippen botsingskans ('de adsorptieverandering, ten gevolge van oppervlaktewijziging') en de kleefkans ('de verkleining der botsingskans, gevolg van geringer aantal deeltjes'). [20.] De promoties volgden elkaar in snel tempo op. Nadat A.E. van Arkel over *Uitvlokkingssnelheid van het seleensol*, een hydrofoob sol, gepromoveerd was (1920), werd de nadruk ge-

legd op de hydrofiele colloïden: H.G. de Jong over *Het agarsol* (1921) en H.J.C. Tendeloo over *Lading en hydratatie*, dat over arabische gom ging (1926). Met zijn leerlingen ontwierp Kruyt nu een algemeen omvattende theorie over de solen en hun stabiliteit, gebaseerd op de lading waardoor de deeltjes elkaar afstoten en eventueel de hydratatie (later 'ware oplosbaarheid'), die deeltjes beletten samen te klonteren.

Kruyt wilde de (toenmalige) colloïdchemie uit één gezichtspunt beschouwen. Tot aan de jaren dertig legde hij de nadruk op de eenheid in de colloïdchemie, op de overeenkomsten meer dan op de verschillen tussen hydrofobe en hydrofiele colloïden. In juni 1927 hield hij op het vijfde National Colloid Symposium te Ann Arbor (Michigan) een voordracht over 'Unity in the Theory of Colloids'[21.], in juli van het jaar erop in Den Haag op de negende Conferentie van de Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée een voordracht over 'The trend of thought in modern colloid chemistry'.[22.] Voor Kruyt bestond er geen dualisme tussen hydrofobe en hydrofiele colloïden; beiden bestaan uit polymoleculaire aggregaten en stoten elkaar door hun lading af (althans in water als dispersiemiddel). 'When we look back to what we have stated above, we come to the conclusion that the colloidal solutions, both of lyophobic and of lyophilic sols, are built up of *polymolecular particles*, and that in both groups the *electrical character is the same*, viz., it has the electro-capillary (electrokinetic) character. In this respect they therefore are *quite different from ionic disperse systems* and a theory which seeks for scientific unity by identifying lyophilic colloids to ionic solutions is on the wrong track. All colloidal solutions are principally of the same type and the first aim of colloid chemistry should be the better understanding of the electrical double layer, as this comes to thefore at all sorts of boundaries'.[23.]

Maar al spoedig kregen de opvattingen over de stabiliteit van solen, waarin lading en adsorptie (hydratatie) verbonden waren met stabiliteit, de doodsteek, vooral door Herbert Freundlich, Karl Joachimsohn en Georg Ettisch van het Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische und Elektrochemie in Berlijn-Dahlem, die de resultaten van hun experimenten publiceerden in een artikel: 'Über die Bedeutung der Aufnahme von Ionen durch die Kolloidteilchen bei der Elektrolytkoagulation' (1929).[24.] De Duitse chemici toonden aan dat bij de uitvlokking de hoeveelheden opgenomen tegenionen niet equivalent zijn. De veronderstelling dat colloïden coaguleren omdat ze ontladen worden door adsorptie van ionen bleek daardoor onjuist te zijn. 'In de jaren 1930 en '31 leefden wij in de grootst mogelijke wetenschappelijke onzekerheid en in 1932 ben ik naar Berlijn gegaan om met Freundlich te overleggen, hoe wij uit dezen neerdrukkenden toestand zouden kunnen geraken. Hij gevoelde zich even ongelukkig als ik, maar na een dag praten kwamen wij toch tot een conclusie. De reden, waarom de kolloidchemie in een impasse geraakt was, lag daarin, dat er veel te oppervlakkig onderzoek gedaan was en dat wij wel velerlei wisten van verschillende, overigens slecht gedefinieerde objecten, maar dat de basis voor een nieuwe theorie zou moeten gevonden worden in een diepgaand onderzoek van één goed gedefinieerd sol. Ik koos direct de zilverhalogeniden [...]', die Kruyt als 'een ideaal modelkolloid' beschouwde.[25.] Freundlich koos voor het onderzoek onder andere de oxiden.

Kruyts keus was een gelukkige keus. Het AgJ-sol was al goed bekend door het promotiewerk van Paul Christiaan van der Willigen, die op 4 april 1927 bij Kruyt was gepromoveerd op het proefschrift: *Lading en uitvlokking van suspensoiden*.[26.] Uit het promotieonderzoek van de toen in Groningen werkzame E.J.W. Verwey, *Dubbellaag*



XII. Kruyts privé-laboratorium in het Utrechtse Van 't Hoff-laboratorium (1933).

en stabiliteit van lyophobe kolloieden (1934) en uit een artikel van Verwey en Kruyt uit hetzelfde jaar[27.], bleek dat de ontladingshypothese te simpel was en men de invloed van toegevoegde elektrolyten op de dikte van de ionenatmosfeer in rekening moest brengen. Later werden tal van promotieonderzoekingen aan het AgJ-sol gedaan, o.a. door Margaretha Albertina Maria Klompé (1912-1986), die op 21 april 1941 promoveerde op het proefschrift *Solconcentratie en uitvlokking bij het AgJ-sol* en na een loopbaan als lerares scheikunde in Nijmegen, grote bekendheid zou krijgen als landelijk politica van de Katholieke Volkspartij. In 1946 kon Kruyt constateren 'dat het katterige gevoel, dat mijn besprekingen met Freundlich in 1932 kenmerkte, geheel verdwenen is en wij de zekerheid hebben weer vasten grond onder de voeten te hebben'.[28.] In zijn afscheidscollege ging hij uitvoerig in op de talloze onderwerpen die in Utrecht waren bestudeerd en bijgedragen hadden tot de ontwikkeling van de colloïdchemie.[29.] Als bekroning op zijn wetenschappelijk werk kunnen we de twee delen van het boek *Colloid Science* (1949, 1952) beschouwen, door hem en een aantal colloïdchemici geschreven. Kruyt probeerde daarbij 'alle' toenmalige Nederlandse kennis op het gebied van de colloïdchemie binnen de groep van zijn auteurs bijeen te brengen. Het boek had 'no pretention of being a complete treatise. It is only meant to be a guide to the domain of colloid science with the subject of providing a stimulus in the branch of research with which it deals'.[30.] De stof is ingedeeld in reversibele en irreversibele systemen, d.w.z. in 'colloid systems which can undergo phase change or phase separation reversibly or otherwise. A thermodynamically definable stability difference is thus the basis of this classification'.[31.] De reversibele of lyofiele colloïden worden herkend als macromoleculen. Het eerste deel van *Colloid Science*, dat de lyofobe colloïden tot onderwerp heeft, verscheen in 1952, drie jaar na het tweede deel. Het was, met uitzondering van een algemene inleiding van Kruyt en een hoofdstuk over de optische eigenschappen van colloïdale oplossingen van G.H. Jonker, geheel door Overbeek geschreven. Van de schrijvers van het tweede deel, bespraken J.J. en P.H. Hermans en Houwink de verschillende aspecten van de macromoleculen. Bungenberg de Jong vertaalde zijn grote kennis van lyofiele systemen in de taal van de macromoleculen en Booij behandelde de zepen, waar de colloïdale micellen reversibele aggregaten van kleine moleculen zijn. Behalve Kruyt werkten aan *Colloid Science* de volgende colloïdchemici mee:

Heinerle Lorenz Booij (1913-1994), privaatdocent medische chemie Leiden
Hendrik Gerard Bungenberg de Jong (1893-1977), hoogleraar medische chemie Leiden
Jan Joop Hermans (*1909), hoogleraar fysische chemie Groningen[32.]
Petrus Hendrik Hermans (1898-1979), directeur van het Instituut voor Cellulose-Onderzoek van de Algemene Kunstzijde Unie te Utrecht
Roelof Houwink (1897-1988), directeur-generaal van de rubberstichting te Delft
Gerard Heinrich Jonker (1888-1975), researchchemicus op het Natuurkundig Laboratorium van Philips te Eindhoven

Jan Theodoor Gerard Overbeek (*1911), hoogleraar fysische chemie Utrecht Kruyt merkte in het voorwoord bovendien op: 'Dr. E.J.W. Verwey (Eindhoven) and Dr. S.A. Troelstra (Eindhoven) are not mentioned as authors. Actually they did not have the time to write the parts that were intended for them but they have been con-



XIII. Dr. Evert Johannes Willem Verwey (1905-1981) werkte van 1934 tot 1966 op het Natuurkundig Laboratorium van Philips aan de fysische en anorganische chemie van de vaste stof. Hij schreef met zijn medewerker en latere Utrechtse hoogleraar Jan Theodoor Gerard Overbreek het invloedrijke Theory of the stability of lyophobic colloids. The interaction of sol particles having an electric double layer (1948).

sulted by Overbreek and Jonker many times. Accordingly, they are not authors, but we are very grateful to them for their spiritual assistance'.[33.] Het tweedelige werk laat duidelijk zien hoeveel in de moderne colloïdchemie van Nederlandse oorsprong en vooral van Kruyt en diens leerlingen afkomstig is. Ze zijn, aldus Overbeek, 'doordrenkt van de in de loop der jaren te Utrecht, later ook te Leiden, Eindhoven, Gent en elders ontwikkelde opvatting, dat het mogelijk is, de colloïdchemische verschijnselen van uti algemeen fysisch en fysisch-chemisch gezichtspunt te benaderen, maar dat het anderzijds wegens het optreden van 'grote kinetische eenheden' toch nuttig is de colloïdchemie apart en als een geheel te behandelen'.[34.]

De school van Kruyt

Een aantal van de talrijke leerlingen van Kruyt hebben belangrijke bijdragen tot de verdere ontwikkeling van de colloïdchemie gegeven. Door hen bleef deze discipline in ons land niet tot Utrecht beperkt: ze werd ook in Leiden door Bungenberg de Jong en in Wageningen door Tendeloo beoefend en er was een belangrijke groep colloïdchemici op het Natuurkundig Laboratorium van Philips in Eindhoven.

Hendrik Gerard [Bungenberg] de Jong (1893-1977)[35.] was na een kandidaatsstudie in de biologie en een doctoraalstudie in de scheikunde op 6 juni 1921 bij Kruyt gepromoveerd op het proefschrift *Het agarsol. Bijdrage tot de kennis van den emulsoiden toestand*. Hij was van studierichting veranderd wegens het door hem gevoelde tekort aan exactheid in de biologie. Tot 1923 was Bungenberg de Jong assistent van Kruyt, werd toen medewerker aan het Natuurkundig Laboratorium van Philips en ging het jaar erop naar de Hollandsche Kunstzijde Industrie te Breda om een researchlaboratorium op te zetten. In 1926 werd hij benoemd op een nieuwe leerstoel voor medische chemie aan de Leidse universiteit, waar hij werkzaam bleef tot aan zijn emeritaat in 1961.

In september 1929 had Bungenberg de Jong met Kruyt een belangrijk voorlopig artikel gepubliceerd over 'Coacervation (Partial miscibility in colloid systems)'[36.], waarin experimenten worden beschreven, waarbij oplossingen van lyofiele colloïden zich in twee vloeibare fasen ontmengen. Met nadruk werd daarbij gewezen op de voor de biologie mogelijke betekenis van de gedeeltelijke ontmenging van colloïdale systemen, voor welke fasenscheiding de beide onderzoekers het begrip coacervatie invoerden. In Leiden hielden Bungenberg de Jong en zijn medewerkers zich sindsdien intensief bezig met de studie van de ontmenging van colloïdale oplossingen. Hij oefende hiermee grote invloed uit op de fysische scheikunde van het grensgebied tussen biologie en chemie. Een samenvatting van zijn wetenschappelijk werk vinden we in het tweede deel van Kruyts *Colloid Science* (1949) en in een met zijn medewerker en opvolger Heinerle Lorenz Booij geschreven overzicht *Biocolloids and their interactions* (1956).[37.]

Henricus Jacobus Charles Tendeloo (1896-1984)[38.] was op 18 januari 1926 bij Kruyt gepromoveerd op een proefschrift *Lading en hydratatie*, waarin hij deze beide grootheden van verschillende solen (arabische gom, zetmeel en agar) onder invloed van verschillende toegevoegde elektrolyten onderzocht. Ook Tendeloo was eerst werkzaam in de industrie: van 1925-1928 bij de Lijm-en Gelatinefabriek in Delft en van 1928-1931 bij de Bataafsche Petroleum Maatschappij in Amsterdam. In het laatste jaar werd hij benoemd tot lector in de fysische en de colloïdchemie aan de Land-

bouwhogeschool te Wageningen. In 1937 werd hij buitengewoon en in 1945 gewoon hoogleraar. In 1962 ging hij met emeritaat.

Tendeloo paste in zijn onderzoekingen de colloïdchemie toe op landbouwkundige vraagstukken, met speciale aandacht voor de ionenwisseling in de bodem en de ermee verband houdende elektrische bepalingsmethoden. In de jaren 1931-1932 onderzocht hij grond en melk, met vooral aandacht voor het mechanisme van de coagulatie. Vervolgens bestudeerde hij het ontstaan van neerslagbanden van de bodem die op bepaalde diepten onder het oppervlak voorkomen en geïnterpreteerd werden als uitvlokkingsverschijnselen (1933-1934). Tendeloo zag spoedig in dat de meeste in de landbouw voorkomende systemen te gecompliceerd waren om theoretisch begrepen te kunnen worden. Daarom probeerde hij fundamentele studies van goed bekende systemen te gebruiken voor de verklaring van moeilijke landbouwkundige problemen.

Belangrijk voor de colloïdchemie zijn ook de bijdragen van de industrie (Philips, Hollandsche Kunstzijde Industrie, Unilever, Shell). Tussen de Nederlandse universiteiten en het Philips Natuurkundig Laboratorium hebben altijd nauwe relaties bestaan en op het Nat. Lab. werd veel aandacht gegeven aan de studie van colloïdchemische problemen. De aanleiding daartoe was het probleem van de elektroforetische bedekking van elektroden in radiobuizen, Braunse buizen en later het bedekken van televisieschermen en TL-buizen met een gelijkmatige poederlaag, waarbij colloïdchemische stabiliteit en hechting een hoofdrol spelen. Verschillende leerlingen van Kruyt hebben op het Natuurkundig Laboratorium van Philips in Eindhoven gewerkt, waaronder Evert Johannes Willem Verwey (1905-1981).[39.] Deze had van 1923-1929 in Amsterdam scheikunde gestudeerd en assistentschappen bekleed bij Büchner in Amsterdam (1927-1931) en Jaeger in Groningen (1931-1934). Zoals reeds vermeld bereidde hij daar zijn proefschrift *Dubbellaag en stabiliteit van lyophobe kolloieden* voor, waarop hij op 12 maart 1934 bij Kruyt promoveerde. Hij aanvaardde een functie als wetenschappelijk medewerker op het Natuurkundig Laboratorium van Philips, waarvan hij in 1946 directeur werd.

Rond Verwey vormde zich een groep van chemici die zich met colloïdchemische problemen bezig hielden: Sjerp Anne Troelstra, die op 21 april 1941 bij Kruyt gepromoveerd was op *Uitvlokking en omlading*, Jan Theodoor Gerard Overbeek, op 19 mei van hetzelfde jaar bij Kruyt gepromoveerd op *Theorie der electrophorese. Het relaxitieeffect* en Gerard Heinrich Jonker, die twee jaar later, op 24 mei 1943, promoveerde op *Vorming en veroudering van verdunde zilverbromidesolen*.

Verweys dissertatie handelde over de elektrolytische dubbellaag en de stabiliteit van het zilverjodidesol. Essentieel was hierbij het inzicht dat voor een juist begrip van de verschijnselen alleen de zogenaamde potentiaal-bepalende ionen (de ionen die in de beide fasen, de soldeeltjes en het dispersiemiddel, voorkomen en waarvan de elektrochemische potentialen in de beide fasen zich daarom op een gelijke waarde kunnen instellen) van belang zijn voor het tot stand komen van de wandlading en de daarmee samenhangende diffuse dubbellaag. In een reeks artikelen ontwikkelde Verwey daarna alleen of in samenwerking met zijn Eindhovense collega's baanbrekende inzichten die tot kwalitatieve en later kwantitatieve beschrijvingen voerden van de lyofobe colloïden. Als eerste op dit gebied paste hij het begrip vrije energie toe, en wel op het systeem colloïdale deeltjes - elektrolyt en voorts betrok hij be-

schouwingen ook de London- Van der Waals-krachten tussen de deeltjes.

Op 24 oktober 1938 was Hendrik de Bruyn bij Kruyt gepromoveerd op *Electrostatica der phasengrens. Een electrometrische analyse der ladingenverdeling en potentiaalsprongen in het AgJ-grensvlak*. Tussen 1936 en 1938 hadden bij Philips de Groningse organicus Jan Hendrik de Boer en vooral de fysicus Hugo Christiaan Hamaker (1905-1993), een leerling van Leonard Salomon Ornstein in Utrecht[40.], het idee uitgewerkt, dat de invloedssfeer van de attractiekrachten vergelijkbaar is met die van de afstontende krachten, dat ze dus van de orde van de afmetingen van het colloïdale deeltje zijn.[41.] De Boer zag duidelijk het belang in van de elektrische dubbellaag en de Van der Waalskrachten voor colloïdale systemen; Hamaker ontwikkelde een algemene theorie voor lyofiele colloïden gebaseerd op de wisselwerking tussen de afstoting van de elektrische dubbellaag en de Van der Waals-aantrekking. Het werd de grondslag voor de stabiliteitstheorie waar Verwey mee bezig was. Met De Boer en Hamaker had hij in 1939 de elektroforetische bedekking van metalen uit waterige suspensies onderzocht, wat geleid had tot een nieuwe methode voor het bedekken van kathoden met een oxidelaagje.[42.] Dit onderzoek gaf mede de stoot tot een nadere beschouwing van de stabiliteit bij colloïden. Toen Overbeek na zijn promotie in 1941 wetenschappelijk mederwerker bij Philips werd, hield hij zich bezig met luminescerende poeders voor TL-buizen en televisie. Verwey vroeg hem daarnaast in zijn vrije tijd mee te werken aan de stabiliteitstheorie. Het onderzoek leidde tot het boek *Theory of the stability of lyophobic colloids. The interaction of sol particles having an electric double layer* (1948), waarin de factoren, die van belang zijn voor de stabiliteit van een hydrofobe (lyofobe) colloïdale oplossing werden onderzocht: afstoting tengevolge van de elektrische dubbellaag en aantrekking door de London- Van der Waalskrachten.[43.] De theorie bleek overigens al onafhankelijk door de Russen Boris Derjaguin (1939) en Lev Davidovich Landau (1941) te zijn ontwikkeld, en is later bekend geworden als de DLVO-theorie. Deze theorie heeft grote invloed gehad op de verdere ontwikkeling van de colloïdchemie en het onderzoek van de dubbellaag. Ze behandelt kwantitatief de stabiliteit van een colloïdaal sol als het resultaat van elektrostatische afstoting en Van der Waals-aantrekking. Toen Overbeek in 1946 Kruyt als hoogleraar fysische chemie in Utrecht opvolgde, begon hij met zijn assistent Hendrik Reerink onderzoek te doen over de stabiliteit van colloïden met het doel de uitvloksnelheid volgens de DLVO-theorie te toetsen.[44.] Reerink promoveerde bij Overbeek op 7 juli 1952 op *De uitvloksnelheid als criterium voor de stabiliteit van zilverjodidesolen*. In 1975 merkte Marcus Johannes Sparnaay op: 'Misschien geen toeval dat de thans als klassiek beschouwde monografie over de stabiliteit van lyofobe colloïden door Verwey en Overbeek op het Nat Lab is geschreven (in 1946). Colloïdchemische overwegingen spelen een rol bij het uitzoeken van optimale omstandigheden voor diverse fabricageprocédés, zoals bij het vervaardigen van fluorescerende scheremen, van magnetische banden en bij de electroforetische bedeking van een metaal met een isolerende laag. De colloïdchemie was op het Nat Lab oorspronkelijk mede voedingsbodem voor de interesse in biologische membraansystemen'.[45.]

Bij zijn afscheid als hoogleraar in Utrecht (3 juni 1981) merkte Overbeek op dat zijn 'major discovery [op het gebied van de Van der Waalskrachten], and perhaps in all my research, was the realization that London - van der Waals forces must show

retardation at separations larger than the London wave length'.[46.] Overbeek noemde het retardatie-effect in een voordracht in Brussel in 1946 en vroeg H.B.G. Casimir, sinds 1939 bijzonder hoogleraar in de theoretische natuurkunde in Leiden en vanaf 1942 in dienst van het Philipslaboratorium, of deze een meer bevredigende theoretische behandeling ervan kon geven. Dit leidde tot een volledige kwantummechanische behandeling door Casimir en D. Polder.[47.] De eerste rechtstreekse meting aan Van der Waalskrachten deed Overbeeks assistent Sparnaay, die op 10 juli 1952 op *Directe metingen van Van der Waals-krachten* promoveerde, door Overbeek in zijn afscheidscollege gekarakteriseerd als 'hels moeilijk als u bedenkt dat daarbij zeer vlak gelegen plaatjes op afstanden van één honderdduizendste tot é én miljoenste centimeter van elkaar gehouden moesten worden en dat daarbij een aantrekking van 1 mg kracht gemeten moest worden'.[48.]

Colloïdchemie in Amsterdam

Het voorgaande zou misschien de indruk kunnen wekken dat de beoefening van de colloïdchemie in ons land zich tot Utrecht heeft beperkt, maar in Leiden werkte Bungenberg de Jong, in Wageningen Tendeloo en in Amsterdam Büchner. Het waren ook niet alleen Kruyt en diens leerlingen die de colloïdchemie in ons land beoefenden. Op 24 januari 1917 was Johan Rudolf Katz (1880-1938), - 'a psychiatrist of enormous literary culture, but with an extremely narrow basis of mathematics', aldus Bijvoet[49.] - bij Smits gepromoveerd op een proefschrift: *Die Gesetze der Quellung. Eine biochemische und kolloidchemische Studie*. Katz had geneeskunde in Amsterdam gestudeerd en zich gespecialiseerd als psychiater (1915). Daarnaast had hij een grote belangstelling voor de scheikunde, waarop hij zich later geheel toelegde. Onder Bakhuis Roozeboom was hij al aan de studie van de scheikunde begonnen. Zijn promotie bij Smits bevatte een nieuwe zwellingstheorie: Zwelling werd opgevat als een oplossing van water in de zwelbare stof, dus als een intermoleculair proces en niet als een oppervlakteverschijnsel. Katz' medische opleiding leidde tot een tweede dissertatie, eveneens in 1917, nu over *Het oudbakken worden van brood in verband met het vraagstuk van den nachtarbeid der bakkers*. Sinds 1919 was hij privaatdocent in Amsterdam en vanaf 1923 begon hij in het Kaiser Wilhelm Institut für Faserchemie in Berlijn met zijn onderzoekingen over de zwelling van cellulose. In Kopenhagen ontdekte hij röntgenspectroscopisch de kristallijne structuur van gerekte rubber (1925).[50.] Hij kwam hierbij tot de conclusie dat 'beim Kautschuk sicher ein hochmolekularer Körper vorliegt'.[51.] Het werk van Hermann Staudinger, hoogleraar aan de Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, die in 1922 het begrip 'macromolecuul' had voorgesteld, kende Katz naar alle waarschijnlijkheid niet. Wel was het hem - als een van de eersten - gelukt een verband te leggen tussen de resultaten van röntgenspectroscopisch onderzoek en de chemische en fysische eigenschappen van hoogmoleculaire stoffen.[52.] Vanaf 1926 zette hij dit onderzoek voort in het scheikundig laboratorium van de Universiteit van Amsterdam. Toen Ketelaar in Amsterdam studeerde, werkte Katz op het scheikundig laboratorium. 'Katz was één van de merkwaardigste mensen, die ik in mijn studietijd leerde kennen, gepromoveerd in de scheikunde, maar ook in de geneeskunde. Uitvinder in het vers houden van brood door bewaring bij lage

temperatuur, maar ook vond hij dat rubber in gerekte toestand een quasi-kristallijn röntgen-beeld vertoont, in tegenstelling tot de toenmalige opvat-

ting van de colloïdale aard, maar wel een bewijs van de aanwezigheid van polymere macromoleculen, zoals Staudinger verdedigde. Als psychiater behoorde hij tot de kring van C.G. Jung'.[53.]

Hoewel Kruyt verschillende promovendi aan lyotropie liet werken (resulterend in dissertaties van Conmar Robinson in 1929, Jan Antonie van der Hoeve in 1930 en Hans Pieter Galema en Hendrik Johan Edelman, beiden in 1931)[54.], zei hij in zijn afscheidscollege: 'maar dit probleem is door Büchner en zijn leerlingen veel systematischer aangepakt, zoodat wij er niet meer op teruggekomen zijn'.[55.]

In Amsterdam had Ernst Hendrik Büchner (1880-1967) steeds meer belangstelling gekregen voor colloïdchemische onderzoekingen. Hij besteedde vooral veel aandacht aan de specifieke invloed van verschillende ionen van dezelfde valentie en andere oplosmiddelen dan water. Met zijn leerlingen besteedde hij uitvoerig aandacht aan lyotrope effecten, waarbij hij er in slaagde de lyotrope eigenschappen van de ionen in een getal uit te drukken.[56.] Met D. Kleyn had hij het uitvlokken van agar-agarsolen bestudeerd (1927) en met G. Postma het uitvlokken van gelatinesolen met zoutmengsels (1931) onderzocht. Het bleek daarbij dat een bepaalde hoeveelheid natriumsulfaat door een bepaalde hoeveelheid van een ander natriumzout kan worden vervangen. De verhouding van deze twee hoeveelheden was echter bij agar-agar en gelatine niet dezelfde. De wiskundestudent Evert Marie Bruins (1909-1990), assistent van de fysicus Jacob Clay, zette de resultaten in een figuur uit met de concentraties van de beide zouten als assen, en kreeg een waaier van rechte lijnen uitgaande van het punt op de X-as dat de concentratie van het natriumsulfaat aangaf. In 1932 bewees Bruins dat deze waaiers wiskundig in projectief verband staan en dat het mogelijk is de richting van de lijnen voor gelatine te berekenen uit die van de lijnen voor agar, wanneer men er in de eerste figuur twee experimenteel heeft bepaald.[57.] Büchner, Voet en Bruins vonden dat er een lineair verband bestaat tussen de lyotrope getallen en de reciproke waarden van de ionenstralen. Ze bewezen dit voor de halogeenionen.[58.] Het onderzoek werd voortgezet door Büchner met zijn leerlingen Voet en Merckel. Joannes Henricus Christophorus Merckel promoveerde op 12 juli 1934 op *Quantitatieve onderzoekingen over lyotrope verschijnselen*; Andreas Voet op 20 februari 1935 op *Kolloiedale oplossingen in geconcentreerde electrolyten*, beide onder begeleiding van de lector Büchner bij de hoogleraar A.H.W. Aten sr.[59.]

Dat de colloïdchemie niet alleen door chemici als belangrijk werd gezien, blijkt onder andere uit een pleidooi voor het gebruik ervan in de biologie door Theodorus Weevers (1875-1952) in zijn Groningse oratie (10 december 1921). Weevers was een leerling van Eduard Clement Verschaffelt (1868-1923), hoogleraar in de farmacognosie en fysiologie van de planten in Amsterdam en bij deze gepromoveerd op *Onderzoekingen over glukosiden in verband met de stofwisseling der plant* (22 oktober 1902). Na een leraarschap werd Weevers buitengewoon hoogleraar in de plantenfysiologie in Groningen (1921) en gewoon hoogleraar in de plantenfysiologie en farmacognosie in Amsterdam (1924). Hoewel hij biologie had gestudeerd, had Weevers ook een grote belangsteling voor de scheikunde, vooral dankzij zijn leraar scheikunde op de Rotterdamse hogereburgerschool; Steven Birnie (1855-1929). In zijn Groningse oratie dankte hij Birnie, die hem als eerste 'de belangstelling voor "la chimie dans l'espace" [had] bij[ge]bracht, aan welke neiging, [...], ik niet ontrouw geworden ben. Een neiging voor de chemie, die samen met liefde voor de plantenphy-

siologie mijn geheele studierichting heeft bepaald'.[60.]

Weevers wees op het begin van de fysische chemie met Van 't Hoff en Arrhenius. 'Was het eerst de plantenphysiologie, die de weg wees aan de algemeene chemie, nu is het de jongste tak der physische chemie, de kolloidchemie, die ons inzicht in de levensverschijnselen der plant moet verdiepen'. Als een van de weinige chemici had Van Bemmelen in Leiden colloïdchemische beschouwingen toegepast in zijn onderzoekingen over het kiezelgel. Maar 'het begin der 20e eeuw brengt een plotselinge groei en bloei der kolloidchemie; binnen enkele jaren verheugt zij zich in een buitengewone belangstelling, ja 't wordt, zou ik bijna zeggen een modewoord, waarmee alles verklaard moet worden'.[61.] Weevers vroeg zich daarbij af wat de betekenis is van de colloïdchemie voor de plantenfysiologie: 'in hoeverre is de kolloidchemie nuttig, ja onmisbaar tot verdieping van ons inzicht in de levensverschijnselen der planten'.[62.] Voor de verklaring van de stabiliteit van colloïden, verwees hij naar 'een onlangs door H.G. de Jong ingesteld onderzoek, betreffende de viscositeit van het agarsol'.[63.] Als stelling had De Jong hier opgenomen: 'Nadere kennis van de kolloidchemie is voor den bioloog van zeer veel belang voor het juiste begrip van vele physiologische processen'.[64.]

Voor de plantenfysiologie 'moet de studie van de bouw van het protoplasma de basis zijn, waarop het onderzoek der levensverschijnselen berust en de kolloidchemie zal daarbij een onmisbare steun blijken'.[65.] Weevers wees op de overeenkomst in de verschijnselen die de colloïdchemicus bij de colloïden bestudeert en die welke de plantenfysioloog bij de levende wezens waarneemt en vestigde er de nadruk op dat de plantenfysioloog, om verder in zijn onderzoek te komen, de colloïdchemie nodig heeft. Maar ook wees hij erop dat 'plantenphysiologie geen kolloidchemie is en [dat] een te eenzijdige beschouwing in deze geest de physioloog op verkeerde banen voert'.[66.]

Elektrochemie

Elektrochemisch onderzoek nam in de eerste helft van deze eeuw in ons land een betrekkelijk bescheiden plaats in. Van 't Hoff behoort ook op dit gebied tot een van de pioniers. In het voetspoor van Arrhenius was hij een van de eerste aanhangers van diens opvattingen over elektrolytische dissociatie en ionenvorming van zoutoplossingen in water. Toen Van 't Hoff overleed, was het probleem van het verklaringsmechanisme van allerlei afwijkingen van de theorie van de elektrolytische dissociatie nog lang niet opgelost. Sterke elektrolyten voldeden bijvoorbeeld niet aan de theorieën van Arrhenius en Van 't Hoff. Het zou ongeveer twintig jaar duren eer er op dit gebied een doorbraak kwam, waarbij onze landgenoot Peter Debye een uitermate belangrijke rol heeft gespeeld. Alvorens tot het werk van Debye over te gaan, moeten we eerst enkele andere elektrochemische onderzoekingen kort vermelden.

Ernst Cohen heeft zich vanaf het begin van de eeuw intensief met elektrochemie beziggehouden.[67.] Allereerst met de bepaling van overgangspunten langs elektrische weg en van de elektromotorische kracht bij scheikundige omzettingen, het onderwerp van zijn dissertatie. Voorts de studie van de normaalelementen, waar gebrek aan chemisch en fysisch evenwicht een groot probleem was. In 1900 verscheen zijn

eerste publikatie over de verklaring van het reactiemechanisme van de normaalelementen van Latimer Clark (uit 1872) en van Edward Weston (uit 1892). Nader onderzoek vereisten een verklaring van de oorzaak van de afwijkingen, die de elektromotorische kracht bij lage temperatuur vertoonde. Systematisch werd dit probleem door Cohen en Moesveld bestudeerd en de resultaten neergelegd in een reeks artikelen, alsmede in dissertaties van Willem Derk Helderman (*Thermodynamica van het Weston-normaalelement*; 6 juli 1915), Regnerus Tjaarda Alting Mees (*Thermodynamica van het Clark-normaalelement*; 6 april 1916) en Cornelis Isaäc Kruisheer (*De specifieke warmte van zouten in verband met de thermodynamica der normaalelementen*; 28 november 1916). Behalve de normaalelementen van Clark en Weston, onderzocht Cohen ook de thermodynamica van het uit 1836 stammende element van John Frederic Daniell (1907).

Bij zijn onderzoekingen kon Cohen gebruik maken van de theoretische verklaring van de chemische reacties in galvanische elementen, die door Walther Nernst in 1899 was gepubliceerd. Nernst maakte daarin voor de verklaring van het ontstaan van een elektrische stroom, tengevolge van een chemisch proces, gebruik van de ionentheorie van Arrhenius. Zijn theoretische beschouwingen werden vanaf 1902 door J.J. van Laar verfijnd en samengevat in diens *Lehrbuch der theoretischen Elektrochemie auf thermodynamischer Grundlage* (1907), dat door het wiskundig karakter onder de chemici nauwelijks waardering genoot.

Behalve Cohen hield Willem Reinders zich al vroeg bezig met elektrochemische onderzoekingen. Gedurende zijn leraarstijd aan de hogereburgerschool en het gymnasium in Breda deed hij theoretische en experimentele onderzoekingen over de elektrodepotentiaal van metaallegeringen (1901-1907). Het was echter de lector Adriaan Hendrik Willem Aten sr. (1877-1950), die het in 1907 nog vrijwel geheel nieuwe vak elektrochemie aan de Amsterdamse universiteit uitwerkte tot een volledige studierichting. Aten werd in 1919 bevorderd tot buitengewoon hoogleraar in de elektrochemie. Als leerling van Bakhuis Roozeboom was ook hij zijn wetenschappelijk werk begonnen met de fasenleer, maar door zijn leeropdracht zien we in zijn werk steeds meer een overgang van fasenleer naar elektrochemie. Naast een zuiver wetenschappelijke belangstelling interesseerde Aten zich ook sterk voor de toegepaste scheikunde. Zijn oratie, die hij op 29 september 1919 hield, ging over *De betekenis van de electrochemie in de wetenschap en in de praktijk*. Na zijn hoogleraars-benoeming volgde er in Amsterdam een sterke opleving in de elektrochemische studierichting. Aten onderzocht onder andere het geleidingsvermogen van gesmolten zouten en van oplossingen van metalen in gesmolten zouten (1909), de elektrolytische afscheiding van metalen (1916), elektro-osmose (1921) en de waterstofelektrode (1923).[68.]

De theorie van de sterke elektrolyten: van J.H. van 't Hoff naar P. Debye

In 1936 werd aan Petrus Josephus Wilhelmus Debye (1884-1966) de Nobelprijs voor scheikunde toegekend ‘voor zijn bijdragen tot onze kennis van de molecuulstructuur door zijn onderzoekingen over dipoolmomenten en over de diffractie van röntgens-

tralen en elektronen in gassen'. Op 21 april 1938 werd hij tot erelid van de Nederlandsche Chemische Vereeniging benoemd 'wegens zijn baanbrekend werk op vele gebieden, zoals zijn theorieën over de polaire moleculen en de sterke elektrolyten en zijn onderzoekingen op het gebied der Röntgen en elektronen-interferentie'.[69.] In 1923 had Debye met zijn assistent en medewerker Erich Hückel de theorie van de sterke elektrolyten gepubliceerd. Het probleem van de sterke elektrolyten vinden we al in de theorie van de verdunde oplossingen van Van 't Hoff (1886), in de theorie van de elektrolytische dissociatie van Svante Arrhenius (1887) en in de verdunningswet van Wilhelm Ostwald (1888). Toen al was het duidelijk dat de sterke elektrolyten niet voldeden aan de theorie van Van 't Hoff en Arrhenius. Vijfendertig jaar later begonnen Debye en Hückel hun artikel 'Zur Theorie der Elektrolyte' met de opmerking: 'Bekanntlich deutet die Arrheniussche Dissoziationshypothese die bei den Elektrolytlösungen beobachteten abnormal groβen Werte von osmotischem Druck, Gefrierpunktserniedrigung usw., durch die Existenz freier Ionen und der damit Hand in Hand gehenden Vermehrung der Zahl der Einzelteilchen. Die quantitative Theorie stützt sich auf die von Van 't Hoff herrührende Übertragung der Gesetze idealer Gase auf die verdünnten Lösungen zur Berechnung ihres osmotischen Druckes. Da es möglich ist, diese Übertragung thermodynamisch zu begründen, so besteht kein Zweifel an der Gültigkeit der Grundlagen im allgemeinen. Bei endlicher Konzentration aber ergeben sich für Gefrierpunktserniedrigung, Leitfähigkeit usw. Werte, welche kleiner sind, als man auf den ersten Blick beim Vorhandensein einer volkommenen Dissoziation der Elektrolyte in Ionen erwarten müβte'.[70.]

Deze afwijkingen waren schijnbaar opgelost door de Deen Niels Bjerrum door het invoeren van de zogenaamde osmotische coëfficiënt, maar - aldus Debye en Hückel - : 'Eine groβe Gruppe von Elektrolyten, die starken Säuren, Basen und die Salze derselben, zusammengefaβt unter dem Namen der 'starken' Elektrolyte, zeigt nun von den nach der klassischen Theorie geforderten Abhängigkeiten ausgesprochene Abweichungen, welche bemerkenswerterweise umso klarer hervortreten, je verdünnter die Lösungen sind'.[71.] Tussen 1887 en 1923 hebben tal van chemici en fysici zich het hoofd gebroken om een oplossing te vinden voor de anomalie van de sterke elektrolyten, welke uitendelijk door Debye werd gevonden.[72.]

Peter Debye (1884-1966)

Debye, die in 1946 Amerikaans staatsburger werd, was in 1884 in Maastricht geboren. (Hoewel zijn achternaam officieel als Debije wordt geschreven, gebruikte hij zelf Debye.)[73.] In tegenstelling tot Van 't Hoff, die van 1877 tot 1896 hoogleraar in Amsterdam was en daarna naar Berlijn vertrok, speelde het wetenschappelijk leven van Debye zich vrijwel geheel in het buitenland af. Dat hij in dit boek een plaats heeft gekregen, komt vooral door de grote invloed die hij ook op Nederlandse scheikundigen heeft uitgeoefend en door zijn grote betrokkenheid met het wetenschappelijk leven in ons land.

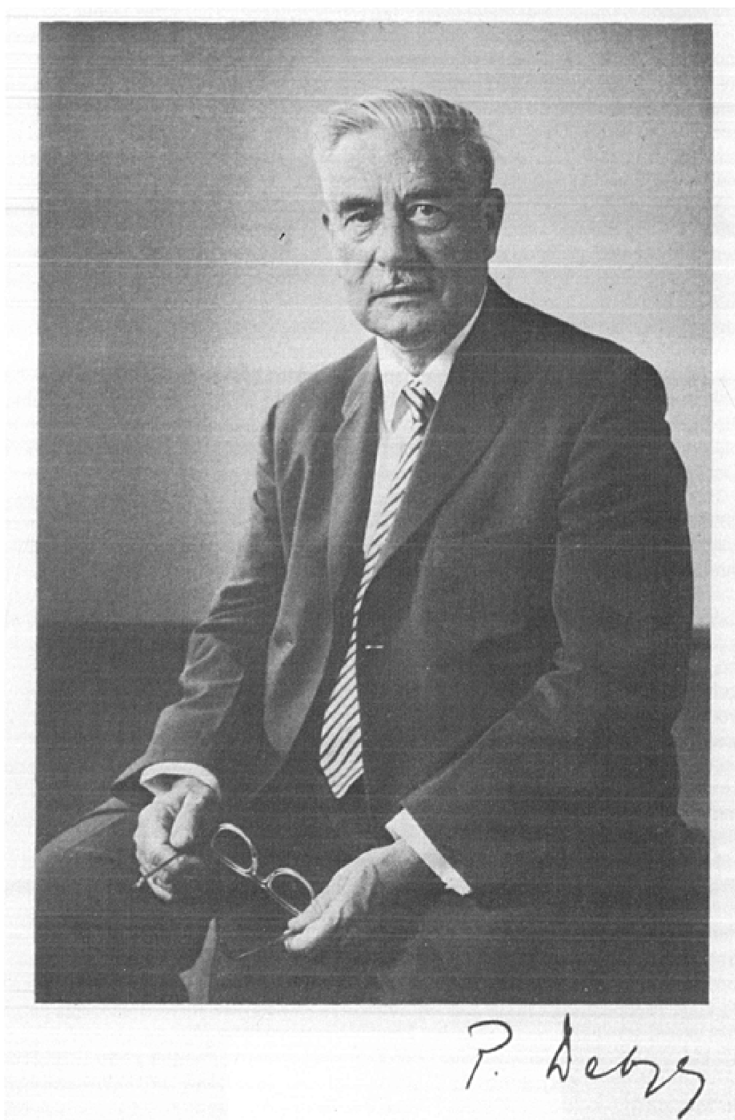
Debye studeerde, na zijn jeugd en middelbare schooltijd (hogereburgerschool) in Maastricht te hebben doorgebracht, voor elektrotechnisch ingenieur aan de Technische Hochschule in Aken (1901-1906), waar hij door Max Wien en Arnold Sommerfeld belangstelling voor de theoretische fysica kreeg. Debye was assistent

voor technische mechanica bij Sommerfeld in Aken (1904-1906) en München (1906-1910),

waar Sommerfeld tot hoogleraar in de theoretische fysica was benoemd. Op 23 juli 1908 promoveerde Debye bij Sommerfeld op een proefschrift *Der Lichtdruck auf Kugeln von beliebigem Material*, waarin hij de stralingsdruk onderzocht die uitgeoefend wordt door bolvormige deeltjes met verschillende refractieve eigenschappen. Hier vinden we Debyes eerste belangrijke bijdragen tot de mathematische fysica.

Tot 1940 doorliep Debye een typisch Duitse carrière, slechts onderbroken door een kort hoogleraarschap aan de Utrechtse universiteit. Hij was privaatdocent in München (1910-1911), buitengewoon hoogleraar in de theoretische fysica aan de kantonale universiteit van Zürich als opvolger van Einstein (1911-1912), gewoon hoogleraar in de mathematische fysica en de theoretische mechanica in Utrecht (1912-1914), in de theoretische en experimentele natuurkunde in Göttingen (1914-1920), in de experimentele fysica aan de Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich (1920-1927) en in Leipzig (1927-1934) en tenslotte directeur van het Kaiser Wilhelm Instituut voor fysica in Berlijn-Dahlem (later omgedoopt tot Max Planck Instituut) en hoogleraar aan de Universiteit van Berlijn (1934-1939). Ondanks het naziregime bleef Debye tot 1939 in Berlijn werkzaam. Zijn sterke binding aan Duitsland (hij was in 1913 met de Duitse Matilde Alberer getrouwd) en zijn merkwaardig gebrek aan politieke interesse moeten hiervan wel de redenen zijn geweest. In ieder geval moest hij niets hebben van het nationaal-socialisme, maar op het ontslag van zijn joodse collega's na 1933 schijnt hij niet te hebben gereageerd. Toen hij naar Berlijn kwam, was dat in Duitse staatsdienst, waarvoor hij de vereiste toestemming van koningin Wilhelmina kreeg. Weliswaar hadden de Duitse autoriteiten hem toegezegd dat hij zijn Nederlandse nationaliteit mocht behouden, maar bij het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog werd hem verplicht de Duitse nationaliteit aan te nemen wilde hij zijn betrekking niet verliezen. Debye had toen juist een uitnodiging van Cornell University gekregen voor het geven van de *Baker Lectures*. Hij vertrok daartoe naar Amerika, bleef daar en werd in 1940 hoogleraar in de scheikunde aan Cornell University in Ithaca in de staat New York. Na zijn emeritaat (1950) bleef hij talrijke gastcolleges geven, nam deel aan wetenschappelijke congressen en bleef adviseur voor zowel jonge medewerkers als voor verschillende industriële ondernemingen en industrielaboratoria. Debye stierf in 1966 op 82-jarige leeftijd in Ithaca.

In tegenstelling tot Van 't Hoff, die in Amsterdam een bloeiende en belangrijke researchschool had en grote invloed uitoefende op de universitaire wetenschap in ons land en daarbuiten, heeft Debye geen Nederlandse school gevormd. Daarvoor was zijn Utrechts hoogleraarschap te kort van duur. Toen Cornelis Harm Wind (1867-1911), die sinds 1904 de theoretische fysica doceerde, in 1911 op slechts 43-jarige leeftijd overleed, werd Debye, die door zijn dissertatie en zijn publikaties over de soortelijke warmte van vaste stoffen de aandacht van de Nederlandse fysici, met name van Lorentz, had getrokken, diens opvolger. Met hem deed de moderne natuurkunde zijn intrede aan de Utrechtse universiteit. In zijn oratie *De kinetische theorie*



XIV. Peter Debye (1884-1966), van 1912-1914 hoogleraar theoretische natuurkunde in Utrecht. Als tweede Nederlander werd hem in 1936 de Nobelprijs voor scheikunde toegekend voor zijn bijdragen tot de kennis van de molecuulstructuur en voor zijn onderzoekingen over dipoolmomenten en over de diffractie van röntgenstralen en elektronen in gassen.

der materie en haar moderne ontwikkeling (30 september 1912) sprak Debye als zijn overtuiging uit dat 'wiskundige natuurkunde in de eerste plaats natuurkunde is en onmogelijk zonder proefondervindelijk onderzoek kan bestaan'.[74.] Met de experimentator Willem Henri Julius (1860-1925) stelde de theoreticus Debye een colloquium in waar afwisselend experimentele en theoretische onderwerpen aan de orde werden gesteld. Debye hield zich in Utrecht vooral bezig met beschouwingen over de kwantumtheorie, maar hij vertrok reeds in 1914 naar Göttingen dat toen wetenschappelijk veel meer te bieden had.

Van Debyes baanbrekend fysisch en fysisch-chemisch werk heeft Utrecht en ons land slechts indirect kunnen profiteren. Internationaal heeft Debye met zijn studies een sterk stempel gezet op de natuurwetenschap uit de jaren 1910-1966. Hij leefde in een tijd dat men in de fysica geleerd had met elektronen te experimenteren (dat wil zeggen met de bouwstenen van de materie) en het inwendige van het atoom had ontsloten. Men had de röntgen - en radioactieve straling ontdekt die beide door materie kunnen gaan en geschikt bleken om zowel de ordening van de atomen als de bouw van atomen op te helderen. Het elementaire werkingskwantum (1900) en later de kwantumtheorie werden een sleutel tot het begrijpen van de structuur van het atoom en de krachten die de materie samenbindt. Door zijn theoretische en experimentele onderzoekingen, die vooral de klassieke fysica en fysische chemie betroffen, heeft Debye hier beslissende antwoorden weten te geven.

Het wetenschappelijk werk van Debye is buitengewoon veelzijdig. Toen ter gelegenheid van zijn zevenstigste verjaardag in 1954 zijn leerlingen de *Collected Papers* uitgaven, deelde Debye zelf zijn werk in vijf groepen in: de verstrooiing van röntgenstralen, dipoolmomenten, elektrolyten, lichtverstrooiing en een rubriek diversen, waaronder zijn theorie van de soortelijke warmte uit 1912. Duidelijk blijkt de rode draad die door zijn wetenschappelijk werk loopt. Vanaf het begin van zijn loopbaan was Debyes fysisch uitgangspunt dat alle gedrag (zowel fysisch als chemisch) van de materie op de ruimtelijke verdeling van de elektronen berust en op de daarvan afhankelijke elektrische wisselwerkingen. De toegepaste methode van onderzoek wisselde voortdurend met de toenemende verdieping van zijn kennis, maar opvallend is dat hij steeds uiterst eenvoudige nieuwe en aanschouwelijke voorstellingen gebruikte. Zijn studies over de wisselwerking tussen straling en materie leidden tot methoden om de structuur van atomen en moleculen te ontrafelen. De betekenis van Debye voor de natuurwetenschap komt vooral duidelijk naar voren bij een chronologische behandeling van zijn wetenschappelijk leven.

In München (1906-1911), waar Sommerfeld de theoretische fysica doceerde, was Wilhelm Conrad Röntgen sinds 1900 hoogleraar in de experimentele fysica. Hij hield zich nog steeds bezig met zijn in 1895 ontdekte straling. In het middelpunt van de toenmalige fysica stonden kwantumtheorie en roostertheorie van de kristallen. Sommerfeld nam eerst een afwachtende houding aan tegenover de eerste kwantum-opvattingen. Debye 'dwong' hem in maart 1910 tot een stellingname, waarop Sommerfeld in september van dat jaar bij Einstein in Zürich raad zocht en na dagenlange discussies gewonnen werd voor het kwantumconcept. Met zijn promovendus Paul Ewald hield Sommerfeld zich bezig met de studie van de doorgang van licht door kristallen. In het voorjaar van 1912 stelde Max von Laue, sinds 1909 privaatdocent in München, voor om zeer korte golven (röntgenstralen) door kristallen te zenden,

waarbij hij diffractieverschijnselen voorspelde. Een andere leerling van Sommerfeld, Walther Friedrich, voerde in mei 1912 met de promovendus Paul Knipping de beslissende experimenten uit. Debye was toen al vertrokken naar Zürich, maar had in München belangstelling gekregen voor de diffractie en interactie van straling met atomaire en moleculaire systemen. Vanaf 1914 zou hij aan dit onderwerp zijn beste krachten wijden.

De korte periode dat de 27-jarige Debye als opvolger van Einstein, die naar Praag vertrokken was, aan de universiteit van Zürich werkzaam was (1911-1912), resulteerde in twee uiterst fundamentele bijdragen tot de theoretische natuurkunde: de theorie van de soortelijke warmte van vaste stoffen en de theorie van de diëlektrische verschijnselen, beiden in 1912 gepubliceerd. In zijn uitbreiding van Einsteins in 1907 gepubliceerde theorie van de soortelijke warmte van vaste stoffen leidde Debye de zogenoemde wet van Debye af, die zegt dat de soortelijke warmte van een kristal bij lage temperatuur evenredig is met de derde macht van de absolute temperatuur en bij hogere temperatuur in hoofdzaak bepaald wordt door de waarde van een zekere voor het kristal kenmerkende temperatuur (de Debye-temperatuur). In hetzelfde jaar gaf Debye een verklaring van de temperatuurafhankelijkheid van de diëlektriciteits-constante. Dit was het begin van zijn theorie van de moleculaire elektrische dipolen, waarin hij aannam dat moleculen een permanent elektrisch dipoolmoment kunnen bezitten en verder dat deze moleculen kunnen draaien en zich in de richting van een elektrisch veld kunnen richten. De door hem afgeleide vergelijking gaf het gedrag van de diëlektrische constante van een stof weer, stelde het bestaan van permanente elektrische dipolen in vele moleculen vast en gaf een methode om de moleculaire dipoolmomenten te bepalen om hieruit de geometrie van het molecuul vast te stellen. De grootheid μ, het elektrisch dipoolmoment, heeft als eenheid de *Debye* gekregen. In 1929 vatte Debye zijn onderzoekingen over de moleculaire diëlektrische dipolen samen in het boek *Polar Molecules*, waarvan in hetzelfde jaar een Duitse vertaling verscheen (*Polare Molekeln*). Dit boek heeft een zeer diepgaande invloed gehad op het denken van natuur- en scheikundigen, die zich bezighielden met de bestudering van de moleculen. De betekenis van de bepaling van het elektrische dipoolmoment werd niet direct in chemische kringen onderkend. Debyes artikel ‘Einige Resultate einer kinetischen Theorie der Isolatoren’ werd in het *Physikalische Zeitschrift* van 1912 gepubliceerd en was bovendien sterk wiskundig van inhoud.[75.] Dat veranderde pas na Debyes lezingen aan de universiteit van Wisconsin in 1927, waaruit het bovenstaande boek resulteerde.

In Utrecht wilde Debye zijn theorie van de elektrische dipolen experimenteel toetsen. De beperkte experimentele mogelijkheden die hem werden geboden, waren de aanleiding dat hij een uitnodiging van de wiskundige David Hilbert om naar Göttingen te komen, direct aannam. Hier begon Debye met zijn fundamenteel onderzoek van de verstrooiing van röntgenstralen in moleculen en atomen om daarmee nieuwe inzichten te krijgen over de bouw van de materie. In 1912 had Von Laue in München de röntgenstralendiffractie van kristalroosters ontdekt, gelijktijdig en onafhankelijk van vader en zoon William Henry en William Lawrence Bragg in Leeds. Debye onderzocht samen met zijn promovendus Paul Hermann Scherrer de ‘Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgelicht’ (1916).[76.] Met verbeterde röntgenbuizen werden foto's van gepoederd lithiumfluoride gemaakt, waarbij diffractiepatro-

nen van een kristalrooster werden gevonden. Dit leidde tot de belangrijke poedermethode van Debye-Scherrer voor de structuurbepaling van kristallen zonder dat men daarvoor niet altijd ter beschikking staande grote kristallen nodig had. De onderzoeksvraag was of specifieke interferenties van door elektronen afgebogen monochromantische röntgenstralen zijn aan te tonen. Het onverwachte resultaat was de waarneming van scherpe interferentiepatronen door kristalroosterinterferenties en niet het verwachte verstrooiingseffect aan de elektronen. Debye en Scherrer keerden toen terug naar het uitgangsprobleem. Ze bepaalden het aantal verstrooiende elektronen (uit de strooiingsintensiteit met naar nul afnemende strooiingshoek) van lithium en fluoor in lithiumfluoride en vonden dat beide als ion in het rooster aanwezig waren. Vervolgens vonden ze de nulpuntsenergie van de roostertrillingen in diamant en tenslotte ontdekten ze inteferentie door een fijne vloeistofstraal van benzeen, waarmee het directe bewijs van de vlakke benzeenstructuur was geleverd. Wat niet lukte waren pogingen om met röntgenstralendiffractie de elektronenbanen in het Bohrse atoommodel aan te tonen.

Het is duidelijk dat toen Debye in 1920 weer naar Zürich vertrok, hij al een vruchtbare periode van fundamenteel onderzoek op het gebied van de theoretische natuurkunde achter de rug had. In Zürich startte hij een nieuw onderzoeksthema, het gedrag van sterke elektrolyten, in het bijzonder de oplossingen van zouten in water. Met de Duitse fysisch-chemicus Hans Falkenhagen gaf hij in Leipzig in 1928 een verklaring van de dispersie van de geleidbaarheid en de diëlektriciteitsconstante van sterke elektrolyten en in hetzelfde jaar een verklaring van het Wien-effect (de afhankelijkheid van de frequentie- en de veldsterkte van het geleidingsvermogen).

Debye beschreef in 1926 het principe van de adiabatische demagnetisatie voor afkoeling tot extreem lage temperaturen. In 1927 deed de Amerikaanse chemicus William Francis Giauque eenzelfde voorstel, waarmee hij op 19 maart 1933 experimenteel een temperatuur van 0,25 ^{o}K wist te bereiken. In 1949 werd hem daarvoor de Nobelprijs voor scheikunde toegekend. Op 6 april 1933 lukte het ook een groep Leidse onderzoekers (Wander Johannes de Haas en Eliza Cornelis Wiersma) met deze methode de temperatuur sterk te verlagen.

In 1927 kreeg Debye met zijn benoeming in Leipzig de meest lucratieve post in Duitsland. Door zijn grote reputatie kwamen er talrijke studenten bij hem fysische chemie en molecuulfysica studeren. In 1934 kreeg hij met het directeurschap van het Kaiser Wilhelm Institut in Berlijn de hoogste wetenschappelijke positie in Duitsland. Gedurende de Tweede Wereldoorlog was Debye actief in het Amerikaanse synthetische rubberprogramma en onderzocht hij het gedrag van polymeren. Zijn belangstelling was vooral gericht op de bepaling van het moleculairgewicht van macromoleculen en colloïden door middel van lichtverstrooiing. In 1949 gaf hij een structuurtheorie voor zeepmicellen.

De sterke elektrolyten

Door Van 't Hoff, Arrhenius, Wilhelm Ostwald en Walther Nernst was de ionentheorie spoedig een groot succes voor de behandeling van zwakke elektrolyten. Maar de eenvoudige wetten faalden bij toepassing op niet-verdunde oplossingen en vooral bij toepassing op sterke elektrolyten. Verschillende chemici, waaronder Van 't Hoff zelf (1895), probeerden tevergeefs de anomalie van de sterke elektrolyten op te lossen

door het afleiden van empirische vergelijkingen. De meeste fysisch-chemici beperkten zich tot een fenomenologische interpretatie van de verkregen experimentele gegevens. Dit leidde tot het invoeren van ionencoëfficienten, in het bijzonder van de osmotische coëfficient, de activiteitscoëfficient en de geleidbaarheidscoëfficient door onder meer de Amerikaan Gilbert Newton Lewis (1907) en de Deen Niels Bjerrum (eveneens 1907). Het uitgangspunt was dat de osmotische druk niet evenredig behoef te zijn met het aantal vrije deeltjes in de oplossing. Lewis voerde het begrip activiteitscoëfficient in: er is een empirische functie van de concentratie f en een activiteit a zodanig dat de wetten van de ideale oplossingen gelden als men in plaats van de concentratie de activiteit gebruikt. De activiteitsconstante f_c=a/c. Andere chemici zochten de oplossing van het probleem van de anomalie van de sterke elektrolyten in de aanname van een gedeeltelijke dissociatie van sterke elektrolyten in oplossing (Arrhenius, 1922). De Groningse scheikundige Hendrik Carel Samuel Snethlage (1887-1969) veronderstelde in 1915 zelfs dat sterke elektrolyten helemaal niet in ionen zijn gedissocieerd.[77.] Snethlage nam aan dat de eigenschappen van elektrolyten in oplossing afhankelijk zijn van de elektrische lading die ze dragen. Er zijn twee soorten moleculen: actieve en pre-actieve. Bij zwakke elektrolyten is er evenwicht tussen actieve en pre-actieve moleculen, welke wordt uitgedrukt in de dissociatieconstante. De verandering van de geleidbaarheid met de concentratie is het gevolg van de omzetting van pre-actieve in actieve moleculen, veroorzaakt door een in het molecuul binnengetreden elektron. Zwakke elektrolyten zijn een mengsel van actieve en pre-actieve moleculen, waarbij de eerste uit de laatste worden gevormd bij verdunning volgens de verdunningswet van Ostwald. Bij sterke elektrolyten, die overwegend uit actieve moleculen bestaan, wordt de verandering in het geleidings- vermogen veroorzaakt door inter- of intramoleculaire krachten. Het voornaamste bezwaar tegen de theorie van Snethlage was dat er geen kwantitatieve conclusies uit konden worden getrokken.

De anomalie van de sterke elektrolyten kon allen opgelost worden door de veronderstelling van een totale dissociatie in oplossing. Al in 1900 had Johannes Jacobus van Laar dit aangenomen.[78.] Vanaf 1902 nam ook de Australische natuurkundige William Sutherland een volledige dissociatie van de sterke elektrolyten aan, wat later gevolgd door Niels Bjerrum (1909), Paul Hertz (1912), Arthur Amos Noyes (1920) en anderen. Tussen 1912 en 1918 publiceerde Samuel Roslington Milner, toen lector in de natuurkunde aan de universiteit van Sheffield, een aantal artikelen over dit onderwerp waar Debye later gebruik van zou maken. Milner legde - net als Bjerrum - de nadruk op de elektrostatische krachten die de ionen op elkaar uitoefenen en die in de klassieke theorie buiten beschouwing werden gelaten. Daarin werden de ionen als geheel onafhankelijk van elkaar beschouwd. Milners berekening van de osmotische coëfficient was in principe het oplossen van een thermodynamisch probleem, maar er waren zoveel onoplosbare wiskundige moeilijkheden te overwinnen dat Milner het verband tussen (1-f_0) [f_0 = 'osmotische coëfficient'] en de concentratie grafisch moest weergeven. Daardoor oefende zijn theorie, als te onpraktisch, weinig invloed uit.

Debye werd met het probleem van de sterke elektrolyten in de loop van 1921 geconfronteerd, toen E. Bauer in een voordracht voor het Physikalische Gesellschaft in Zürich de theorie van Inanendra Chandra Ghosh, lector aan het fysisch-chemisch la-

boratorium van University College in Calcutta, uiteenzette. In 1918 had Ghosh een artikel gepubliceerd waarin hij aannam dat sterke elektrolyten volledig gedissocieerd zijn in vrije en niet-vrije ionen. In de oplossing van een binair elektrolyt zijn de geladen deeltjes gerangschikt als in een ruimterooster van een kristal (een kubisch rooster). Alleen ionen die zich kunnen onttrekken aan de aantrekkingssfeer van een ander ion geleiden de elektrische stroom (vrije ionen). Dat zijn die ionen die zo'n grote beweeglijkheid hebben dat ze hun plaats in het rooster kunnen verlaten. De andere ionen zijn de niet-vrije ionen. De afstand tussen de ionen in het rooster wordt groter als de verdunning toeneemt en het aantal vrije ionen evenzo. De geleidbaarheid van de oplossing is dus evenredig met het aantal vrije ionen. Bij oneindige verdunning zijn alle ionen vrij. Ghosh nam aan dat de beweeglijkheden van de vrije en de niet-vrije ionen voldoen aan de verdelingswet van Maxwell. Voor een binair elektrolyt bij constante temperatuur leidde Ghosh de formule af: osmotische coëfficient $f_0 = 1 - kc^{1/3}$.

De Nederlandse scheikundige wereld kon spoedig kennis nemen van de nieuwe theorie. In maart 1923 schreef Ada Prins (1879-1977), verbonden aan het anorganisch-chemisch laboratorium te Leiden, in het *Chemisch Weekblad* een artikel over ‘de theorie van Ghosh over sterke electrolyten’: ‘Ofschoon de theorie zeer zeker nog voor verbetering vatbaar is, zal men uit deze uiteenzetting, hoop ik, de conclusie trekken, dat zij eene belangrijke bijdrage levert om de anomalie der sterke electrolyten te verklaren’.[79.]

Debye zag direct in dat Ghosh geen rekening had gehouden met het statistische karakter van de verdeling van de ionen in de oplossing. De veronderstelde kristalroosterstructuur leidde daardoor tot een onjuiste concentratie-afhankelijkheid van de activiteitscoëfficient.

Tot nog toe had Debye zich vooral met fysische problemen beziggehouden. Hij ging er daarbij steeds van uit dat alle gedrag van de materie (zowel fysisch als chemisch) gebaseerd is op de ruimtelijke verdeling van de elektronen en op de elektrische wisselwerking daartussen en met de atoomkernen. Steeds zocht hij daarbij naar eenvoudige modellen waarmee hij de fysische en chemische verschijnselen, zoveel als mogelijk was, probeerde te begrijpen. Dankzij zijn buitengewone mathematische begaafdheid slaagde hij er steeds weer in de problemen op te lossen. Debyes belangstelling in de theorie van Ghosh bestond in de toepassing van een ionenkristalrooster als een model voor een volledig geïoniseerde oplossing van een binair elektrolyt, zoals natriumchloride. In 1921 voerde Debye berekeningen uit over de vriespuntsdaling en de geleidbaarheid van sterke elektrolyten en vond daarbij de afhankelijkheid met $c^{1/2}$. In de winter van dat jaar deelde hij zijn eerste resultaten mee aan het Physikalische Gesellschaft. Nadat Erich Hückel in de herfst van 1922 naar Zürich was gekomen, werden de berekeningen in de winter van dat jaar voortgezet. Op 27 februari 1923 werd het eerste artikel, ‘Zur Theorie der Elektrolyte’, dat over vriespuntsdaling en verwante verschijnselen ging, naar de redactie van het *Physikalische Zeitschrift* verzonden. Het artikel werd in de aflevering van 1 mei gepubliceerd. Een tweede artikel, dat over de grenswet voor de elektrische geleidbaarheid handelde, werd verzonden 19 juli 1923 en gepubliceerd in de aflevering van 1 augustus. Met deze twee artikelen betrad Debye het terrein van de fysische chemie en droeg direct bij tot de opheffing van de scheiding tussen de twee disciplines.[80.]

In hun eerste artikel beschouwden Debye en Hückel de elektrostatische krachten

tussen de ionen als de voornaamste oorzaak van de waarneming dat het gedrag van oplossingen van sterke elektrolyten niet ideaal is. Voor voldoend verdunde oplossingen van sterke elektrolyten gelukten het hen theoretisch te berekenen wat de waar te nemen osmotische druk, vriespuntsdaling, enz. moeten zijn voor zouten van verschillende typen bij bepaalde ionensterkten in waterige oplossing.

Milner had in zijn afleiding gebruik gemaakt van ionenatmosferen en had de nadruk gelegd op de elektrostatische krachten die de ionen op elkaar uitoefenen. Hij was echter niet in staat geweest het probleem wiskundig op te lossen. Debye maakte eveneens gebruik van ionenatmosferen, maar maakte in tegenstelling tot Milner gebruik van een eenvoudig model. Het fysische probleem van de elektrostatische wisselwerking tussen de ionen van een volledig gedissocieerd elektrolyt wist Debye op een intuïtieve manier op te lossen. In zijn model van de ionenatmosfeer dacht hij zich de overmaat van een geladen ion in de omgeving van ieder beschouwd ion als gevolg van de temperatuurbeweging als het ware ‘uitgesmeerd’. Voor zijn berekeningen paste hij de wetten van de elektrostatica en de statistiek van James Clerk Maxwell en Ludwig Boltzmann toe, maar was wel gedwongen verschillende vereenvoudigingen toe te passen, die later onderwerp van kritiek zouden worden. Voor de osmotische coëfficient f_0 (het quotiënt tussen de praktische en de theoretische osmotische druk) vonden Debye en Hückel dat $(1-f_0)$ evenredig is met de tweedemachtswortel van de concentratie, die we ook tegenkomen in de empirische relatie voor het geleidingsvermogen van Friedrich Kohlrausch, hoogleraar natuurkunde aan de universiteit van Göttingen: $\Lambda = \Lambda_0 - kc^{½}$. Van deze relatie, waarin k een constante voorstelt, en die Kohlrausch al in 1900 uit zijn proeven over het geleidingsvermogen van verdunde sterke elektrolyten had gevonden, kon de klassieke theorie van Arrhenius geen verklaring geven.

Het tweede artikel van Debye en Hückel gaat over het moeilijker probleem van de afhankelijkheid van de concentratie van de beweeglijkheden van de ionen in oplossing. Twee effecten zijn de oorzaak van de waargenomen vermindering van het geleidingsvermogen: de ionenatmosfeer om ieder ion en de beweeglijkheid van de ionen in de oplossing (het relaxatie-tijd-effect en het elektroforetisch effect). Later verfijnde de Noor Lars Onsager (1925) de theorie van Debye en Hückel door rekening te houden met het effect van de dissymetrie van de ionenatmosfeer tengevolge van de Brownse beweging.[81.]

Dank zij de nauwe banden die Debye met zijn vaderland onderhield, werden de nieuwe opvattingen over de sterke elektrolyten snel bekend in ons land. Al op zaterdag 7 april 1923 sprak hij in de algemene vergadering van het Nederlandsch Natuuren Geneeskundig Congres te Maastricht over ‘de moderne ontwikkeling der elektrolyttheorie’.[82.] Op een buitengewoon heldere manier gaf hij een kwalitatieve uiteenzetting van zijn nieuwe theorie. Op 14 mei 1923 schreef hij vanuit Zürich aan de redacteur van het *Chemisch Weekblad*, W.P. Jorissen:

> Zeer geachte Heer Jorissen!
> U zult wel weten, dat ik voor de ‘handelingen’ van het congres een opstel over elektrolyten moet leveren. Is U desondanks van meening, dat ik nog iets in het chemisch weekblad moest schrijven? Ik heb met mijn vraag gewacht, na ontvangst van Uw kaart, omdat ik het als ‘bijgaand’ aangekondigd nummer van

> het chemisch weekblad verwachtte. Tot nu toe is dat echter niet aangekomen. Ik zou er wel belang in stellen, vooral omdat ik mij op chemisch gebied als dilettant voel en alleen dan in het weekblad wil schrijven, indien ik zeker kan zijn dat niemand mij als indringer beschouwt.[83.]

Keneelijk was Jorissen geïnteresseerd in een artikel van Debye, want in juli 1923 zond deze een artikel ‘over ionen en hun activiteit’, dat in het *Chemisch Weekblad* werd gepubliceerd.[84.] Naar aanleiding van het bovengenoemde artikel van Ada Prins legde Debye uit wat de fouten in de theorie van Ghosh zijn en verklaarde hij met zijn eigen theorie het al lang bekende feit van de invloed van zouten op de oplosbaarheid van andere moeilijk oplosbare zouten die niet hetzelfde ion bevatten (zoals natriumnitraat op de oplosbaarheid van zilversulfaat).

J.J. van Laar, die sinds 1912 om gezondheidsredenen in Clarens vlak bij Montreux in Zwitserland woonde, volgde als privégeleerde de nieuwe ontwikkelingen in de fysische chemie op de voet en reageerde erop in talrijke, gewoonlijk polemische artikelen. In juli 1924 reageerde hij op de theorie van Debye en Hückel.[85.] Zoals hij al vele malen had gedaan merkte hij op dat hij al in 1895 had gewezen op het feit dat de afwijkingen van de ideale wetten voor sterke elektrolyten in oplossing te wijten zijn aan elektrostatische krachten tussen de ionen en dat hij al in 1900 de overtuiging uitgesproken had dat voor sterke elektrolyten de dissociatiegraad praktisch één bedraagt. Van Laar bevestigde de berekeningen van Debye, maar voegde er nadrukkelijk aan toe ‘insofern dieselben auf rein thermodynamischen Boden bleiben, ohne vom osmotischen Druck Gebrauch zu machen’.[86.] Ook Van Laar kwam tot de conclusie dat tengevolge van het elektrostatische veld van de ionen de correctiefactor van de grootte $c_{1/2}$ is en niet, zoals Ghosh had beweerd, $c_{1/3}$. Maar toen op 16 april 1936 de Amsterdamse hoogleraar Adriaan Hendrik Willem Aten sr. in een voordracht, gehouden voor het congres van leraren in de wis- en natuurkundige wetenschappen, gesproken had over ‘de tegenwoordige opvattingen omtrent den toestand van electrolyten in waterige oplossingen’[87.], dat wil zeggen de theorie van Debye, reageerde Van Laar direct.[88.] Nieuwe, uitvoerige berekeningen hadden hem nu tot de conclusie gebracht dat de theorie van Debye en Hückel onjuist was. Debyes gebruik van een ionenatmosfeer dat ieder ion omgeeft is niet juist omdat de deeltjes in een oplossing aan alle kanten dicht omgeven zijn door de moleculen van het oplosmiddel. Van Laar nam nu de theorie van Ghosh aan. Nog in 1935 in zijn laatste boek *Die Thermodynamik einheitlicher Stoffe und binärer Gemische, mit Anwendungen auf verschiedene physikalisch-chemische Probleme,* wees hij de juistheid van de theorie van Debye en Hückel af.

Van Laars afwijzing van de theorie van Debye en Hückel suggereert dieper liggende moeilijkheden. Hoewel vrijwel niemand twijfelde aan een volledige of vrijwel volledige dissociatie van sterke elektrolyten in oplossing, bleek de theorie niet in staat te zijn alle experimentele resultaten bevredigend te verklaren. Maar de bijdragen van Debye waren de eerste poging voor een succesvolle kwantitatieve behandeling van sterke elektrolyten. Er zouden nog tal van verbeteringen en uitwerkingen nodig zijn. In 1967 vatte E.J.W. Verwey de betekenis van Debye als volgt samen: ‘Debye's naam zal verbonden blijven aan vele belangrijke ontwikkelingen op het gebied van de wiskunde, de natuurkunde en de scheikunde. Op het brede terrein van de

klassieke fysika en de fysische chemie (anders gezegd, dat van de molekuulwetenschappen, inclusief de vaste stof) is er, geloof ik, niemand te noemen, die zo sterk zijn stempel op de wetenschappelijke ontwikkeling van de laatste zestig jaar heeft gezet als Debye'.[89.]

Epiloog

In de verslagperiode van dit boek, de eerste helft van de twintigste eeuw, valt ook het elektrochemisch werk van Carl Johann Friedrich Böttcher (*1915) over de elektrische polarisatie. Böttcher had in Leiden fysische chemie bij A.E. van Arkel en theoretische natuurkunde bij H.A. Kramers gestudeerd en was op april 1940 bij Van Arkel gepromoveerd op *De diëlectrische constante van vloeistoffen.*

Na enkele jaren in het bedrijfsleven te hebben gewerkt, werd Böttcher in 1947 benoemd tot gewoon hoogleraar in de fysische chemie aan de Leidse universiteit. Hier hield hij zich vooral bezig met de theorie van de elektrische polarisatie in statische velden en het gedrag van diëlektrica in wisselvelden (diëlektrische relaxatieverschijnselen) en met het berekenen van de polariseerbaarheid van moleculen en ionen uit metingen van de brekingsindex en de dichtheid. In 1952 vatte hij de resultaten van zijn onderzoekingen samen in het boek *Theory of Electric Polarisation.* Spoedig hield hij zich steeds meer bezig met medisch-chemische problemen, terwijl na 1960 zijn belangstelling zich steeds meer verplaatste naar 'science policy' en het wetenschapsbeleid.

Tenslotte noemen we Harm Gerding (1899-1991), die op 9 april 1930 bij Smits was gepromoveerd over *Onderzoekingen over het elektrochemisch en lichtelektrisch gedrag van aluminium en aluminiumamalgamen.* Als privaatdocent in de fotochemie aan de Universiteit van Amsterdam (1933) hield hij zich vooral bezig met de structuurbepalingen van in het bijzonder anorganische verbindingen met behulp van het in 1928 door Raman ontdekte[90.] en naar hem genoemde effect alsmede met behulp van het onderzoek van infraroodspectroscopie. Van 1949-1953 was hij lector en van 1953-1970 hoogleraar aan de Amsterdamse universiteit.

Eindnoten:

1. J.E. Enklaar, *Album der Natuur* 1904, pp. 289-320
2. J.E. Enklaar, *Album der Natuur* 1909, pp. 349-377
3. H.R. Kruyt, *Jaarboek der Nederlandsche Akademie van Wetenschappen* 1941-1942, pp. 214-217 (214)
4. H.J. Backer, *Chemisch Weekblad* 49(1953)586
5. J.Th.G. Overbeek, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993), p. 116
6. J.Th.G. Overbeek, *Chemisch Weekblad* 42(1946)246
7. Over Kruyt: *Chemisch Weekblad* 30(1933)414-459; 42(1946)246-254; 54(1958)321-324; 55(1959)569-571 en *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1959-1960, pp. 317-327
8. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)264

9. J. Al, *Research als overheidstaak*. Dissertatie Delft 1952; Th.J. van Kasteel, ‘Ontstaan en Groei van TNO’, in: *Een Kwarteeuw TNO 1932-1957. Gedenkboek bij de voltooiing van de eerste 25 jaar werkzaamheid van de organisatie TNO op 1 mei 1957* (Den Haag, 1957), pp. 1-39
10. H.R. Kruyt, *In- en Uitvoer. Handels-economisch weekblad voor Nederland en zijne koloniën*, 25 oktober 1916, nr. 43, pp. 677-678
11. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)418-426
12. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 20(1923) 541-544
13. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)268. Vgl.: K. van Berkel, ‘Amerikanisering van de Nederlandse universiteit? De chemicus H.R. Kruyt over Hogeschool en Maatschappij (1931)’, *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 12(1989)198-225 en G. Somsen, ‘Hooge School en Maatschappij. H.R. Kruyt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving’, *Gewina. Tijdscrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 17(1994)162-176
14. J.Th.G. Overbeek, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1959-1960, 318-319
15. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)264-270
16. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)264
17. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)264
18. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)265
19. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)265
20. J. van der Spek, *Bijdrage tot de kennis van het uitvlokkingsproces*. Dissertatie Utrecht, 1918, p. 98
21. H.R. Kruyt, *Colloid Symposium Monograph* 5(1928)7-18
22. H.R. Kruyt, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 47(1928)883-895
23. H.R. Kruyt, *Colloid Symposium Monograph* 5(1928)18
24. H. Freundlich, K. Joachimsohn en G. Ettisch, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 141(1929), Abt. A, 249-269
25. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)265
26. P.C. van der Willigen, *Lading en uitvlokking van suspensoiden*. Dissertatie Utrecht 4 april 1927. Zie ook: H.R. Kruyt en P.C. van der Willigen, ‘Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloiden. Das Silberjodidsol’, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 139(1928)53-63
27. E.J.W. Verwey en H.R. Kruyt, ‘Zur Kenntniss der elektrischen Doppelschicht bei Kolloiden. IV. Die Aufnahme von Ionen flockender Elektrolyte durch die Teilchen des Silberjodid-Sols’, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 167(1934), Abt. A, 312-328
28. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)266
29. Zie ook: J.Th.G. Overbeek, ‘Bij het aftreden van prof. dr. H.R. Kruyt als hoogleeraar in de physische scheikunde’, *Chemisch Weekblad* 42(1946)246-254
30. H.R. Kruyt, *Colloid Science* (Amsterdam enz.), deel I (1952), p. VI; deel II (1949), p. VII
31. H.R. Kruyt, *Colloid Science*, deel I, p. V; deel II, p. V
32. J.J. Hermans was op 7 juli 1937 bij A.E. van Arkel in Leiden gepromoveerd op *The diffusion of electrolytes*.
33. H.R. Kruyt, *Colloid Science*, deel I, p. VI
34. J.Th.G. Overbeek, *Chemisch Weekblad* 54(1958)321
35. Zie over Bungenberg de Jong: J.Th.G. Overbeek, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1977, pp. 158-163 en H. Beukers, *Biografisch Woordenboek van Nederland* ('s Gravenhage, 1989), deel III, pp. 304-306
36. H.G. Bungenberg de Jong en H.R. Kruyt, *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 32(1929)849. Zie ook: Bungenberg de Jong, ‘Die Koazervation und ihre Bedeutung für die Biologie’, *Protoplasma* 15(1932)110-173 en ‘Koazervation’, *Kolloid-Zeitschrift* 79(1937)223-232, 334-344 en 80(1938)221-231, 350-360
37. H.G. Bungenberg de Jong en H.L. Booij, *Biocolloids and their interactions* (Wenen, 1956). Dit is Band I,2 van *Protoplasmatologie. Handbuch der Protoplasmaforschung*.
38. Over Tendeloo: *Chemisch Weekblad* 58(1962)489-492
39. Over Verwey: *Chemisch Weekblad* 63(1967)3-7 en *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1981-1982, pp. 167-177
40. Hamaker promoveerde bij Ornstein op 4 juni 1934 op het proefschrift *Reflectivity and emissivity of tungsten. With a description of a new method to determine the total reflectivity of any surface in a simple and accurate way*. Zie over Ornstein: H.G. Heijmans, *Wetenschap tussen universiteit en industrie. De experimentele natuurkunde in Utrecht onder W.H. Julius en L.S. Ornstein 1896-1940*. Dissertatie Utrecht 1994
41. J.H. de Boer, ‘The influence of van der Waals’ forces and primary bonds on binding energy, strength and orientation, with special reference to some artificial resins’, *Transactions of the Faraday Society* 32(1936)10-38; H.C. Hamaker, ‘A general theory of lyophobic colloids’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 55(1936)1015-1026; 56(1937)3-25; ‘A system of colloid phenomena’, *idem* 56(1937)727-747; ‘London - v.d. Waals forces in colloidal systems’, *idem*

57(1938)61-72 en ‘Potential curves as a basis for the discussion of colloid phenomena’, *Chemisch Weekblad* 35(1938)47-57

42. J.H. de Boer, H.C. Hamaker en E.J.W. Verwey, ‘Electro-deposition of a thin layer of powdered substances’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 58(1939)662-665. Zie ook: Verwey en De Boer, ‘The potential curve of the alkali halide molecules’, *idem* 59(1940)633-649 en Verwey, ‘De theorie voor de wisselwerking van twee electrochemische dubbellagen, in verband met de krachten tusschen de deeltjes in suspensie in lyophobe solen’, *Chemisch Weekblad* 39(1942)563-566
43. Aan het boek werkte ook Klaas van Nes mee: ‘We desire to acknowledge the assistance we received, in a considerable part of the numerical calculations, from Mr K. van Nes, chem. docts., now once again of the laboratory of the Bataafsche Petroleum Maatschappij, Amsterdam, to whom we are also indebted for valuable contributions in the final representation of the results of the theory of Part II’. (E.J.W. Verwey and J.Th.G. Overbeek, with the collaboration of K. van Nes, *Theory of the stability of lyophobic colloids. The interaction of sol particles having an electric double layer*. New York enz. 1948, preface.) H.B.G. Casimir droeg aan de theorie bij door een algemeen bewijs te geven van de door Verwey en Overbeek gebruikte methoden (*Theory of the stability of lyophobic colloids*, pp. 60, 63-65).
44. Zie: J.Th.G. Overbeek, *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), pp. 115-137 en *Fifty Years Integration of Forces. A written and pictorial reminiscence of Prof. Dr. J.Th.G. Overbeek*. Ed. P.L. de Bruyn, J. Lyklema en A. Vrij (Utrecht, 1981)
45. M.J. Sparnaay, *Chemisch Weekblad* 71(1975), nr. 12, p. 15
46. *Fifty Years Integration of Forces. A written and pictorial reminiscence of Prof. Dr. J.Th.G. Overbeek* (Utrecht, 1981), p. 7
47. J.Th.G. Overbeek, ‘Wisselwerking van electrochemische dubbellagen: stabiliteit van hydrophobe colloiden’. *Verhandelingen van de Vlaamse Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten*. Klasse der wetenschappen 1946, p. 130; H.B.G. Casimir en D. Polder, ‘The influence of retardation on the London - van der Waals forces’, *Physical Review* 73(1948)360-372. Vgl. Casimir en Polder, *Nature* 158(1946)787-788 en Casimir, ‘On the attraction between two perfectly conducting plates’, *Proceedings of the section of sciences. Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen* 51(1948)793-795. Zie ook: Casimir, *Het toeval van de werkelijkheid. Een halve eeuw natuurkunde* (Amsterdam, 1983), p. 286 en *Physics in the Netherlands. A selection of Dutch contributions to physics in the first 30 years after the second world war* (Utrecht, 1982), pp. 32-34, 312-316
48. *Fifty Years Integration of Forces*, p. 219
49. J.M. Bijvoet, in: *Fifty years of X-ray diffraction*. Ed. P.P. Ewald (Utrecht, 1962), p. 475
50. J.R. Katz, ‘Röntgenspektrographische Untersuchungen am gedehnten Kautschuk und ihre mögliche Bedeutung für das Problem der Dehnungseigenschaften dieser Substanz’, *Die Naturwissenschaften* 19(1925)410-416. Over Katz, zie: J. Straub, *Chemisch Weekblad* 35(1938)350 en N.P. Badenhuizen en A. Weidinger, *idem* 36(1939)230-237
51. J.R. Katz, ‘Was sind die Ursachen der eigentümlichen Dehnbarkeit des Kantschuks?’, *Kolloid-Zeitschrift* 36(1925)300-307; 37(1925)19-22 (citaat 36(1925)301)
52. Vgl.: C. Priesner, *H. Staudinger, H. Mark und K.H. Meyer. Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle. Ursachen und Hintergründe eines Akademischen Disputes* (Weinheim, Deerfield Beach, Basel, 1980), pp. 50-51 en H.F. Mark, *From small organic molecules to large. A century of progress* (Washington, 1993), pp. 26-27
53. J.A.A. Ketelaar, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), pp. 90-91
54. C. Robinson, *The lyotropic series* (1 juli 1929); J.A. van der Hoeve, *Verstijfseling van aardappelmeel. Kolloid-chemische onderzoekingen* (7 juli 1930); H.P. Galema, *De invloed van neutrale zouten op gelatine solen* (28 september 1931); H.J. Edelman, *De invloed van neutrale zouten op de hydrophiele kolloiden amylum en arabiese gom* (26 oktober 1931)
55. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 42(1946)266
56. E.H. Buchner, ‘Lyotrope getallen’, *Chemisch Weekblad* 30(1933)86-87 en ‘Lyotrope beïnvloeding’, *idem* 39(1942)402-404
57. E.M. Bruins, ‘Die numerische Festlegung der lyotropen Reihe’, *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 35(1932)107-115. Over Bruins: J. van Maanen, *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 14(1991)116-118
58. E.H. Büchner, A. Voet en E.M. Bruins, ‘Lyotrope Zahlen und Ioneneigenschaften’, *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 35(1932)563-569
59. Vgl.: E.H. Büchner, ‘Quantitative Beziehungen in den lyotropen Reihen. Einleitung’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 53(1934)288-291; E.M. Bruins, ‘Quantitative Beziehungen in den lyotropen Reihen. II. Die lyotropen Zahlen und ihre Erklärung’, *idem* 53(1934)292-307
60. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie* (Groningen, Den Haag, 1921), p. 35
61. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie*, p. 6
62. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie*, p. 7
63. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie*, p. 10

64. H.G. de Jong, *Het agarsol. Bijdrage tot de kennis van den emulsoiden toestand*. Dissertatie Utrecht 1921. Stelling XIV
65. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie*, p. 13
66. Th. Weevers, *De beteekenis der kolloidchemie voor de plantenphysiologie*, p. 14
67. W.D. Helderman, 'De electrochemische onderzoekingen van Prof. Dr. E. Cohen', *Chemisch Weekblad* 15(1918)1426-1437
68. Over Aten sr.: *Chemisch Weekblad* 46(1950)117-119
69. *Chemisch Weekblad* 35(1938)373
70. P.Debye en E. Hückel, *Physikalische Zeitschrift* 24(1923)185
71. P.Debye en E. Hückel, *Physikalische Zeitschrift* 24(1923)185-186
72. J.H. Wolfenden, 'The anomaly of strong electrolytes', *Ambix* 19(1972)175-196; R.G.A. Dolby, 'Debates over the theory of solution: A study of dissent in physical chemistry in the English-speaking world in the late nineteenth and early twentieth centuries', *Historical Studies in the Physical Sciences* 7(1976)297-404; H.A.M. Snelders, 'The historical background of Debye and Hückel's theory of strong electrolytes', *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*. Serie B 89(1986)79-94
73. Over Debye, o.a.: E.J.W. Verwey, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1966-1967, pp. 341-348; M. Davies, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 16(1970)175-224 en J.W. Williams, *Biographical Memoirs. National Academy of Sciences of the United States of America* 46(1975)23-50
74. P. Debye, *De kinetische theorie der materie en haar moderne ontwikkeling* (Utrecht, 1912), p. 22
75. P. Debye, *Physikalische Zeitschrift* 13(1912)79-100
76. P. Debye en P. Scherrer, *Physikalische Zeitschrift* 17(1916)277-282
77. H.C.S. Snethlage, 'Eine Hypothese über den Zustande gelöster Elektrolyte', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 90(1915)1-46, 139-188; 'De anomalie der sterke electrolyten', *Chemisch Weekblad* 13(1916)314-333 en 'Zijn opgeloste electrolyten gedissocieerd?', *Handelingen van het XVIde Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres gehouden te s' -Gravenhage op 12, 13 en 14 April 1917* (Haarlem, 1918), pp. 186-199
78. J.J. van Laar, 'Sur la loi de dilutation chez les électrolytes fortement dissociées', *Archives du Muse' Teyler* (2)7(1902), 1e partie, 59-95 (74-77) [gedateerd Utrecht, 19 maart 1900]
79. A. Prins, *Chemisch Weekblad* 20(1923)237-242 (242). Zie over Ada Prins: H. de Liagre Böhl, *Met al mijn bloed heb ik voor U geleefd. Herman Gorter 1864-1927* (Amsterdam, 1996). Van haar hand verscheen een *Beknopte leidraad voor de qualitatieve chemische analyse* (Amsterdam, 1919, ^{2}1924, ^{3}1930).
80. P. Debye en E. Hückel, *Physikalische Zeitschrift* 24(1923)185-206 en 305-325
81. L. Onsager, *Physikalische Zeitschrift* 27(1926)388-392 en 28(1927)277-298
82. P. Debye, *Handelingen van het XIX^{de} Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres gehouden te Maastricht op 5, 6 en 7 april 1923* (Haarlem, 1923), pp. 40-50
83. Archief KNCV, den Haag.
84. P. Debye, *Chemisch Weekblad* 20(1923)562-568
85. J.J. van Laar, 'Einiges 'ber die Theorie der starken Elektrolyte und ihre Geschichte', *Zietschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 139(1924)108-134 en 'Iets over de theorie der sterke electrolyten', *Chemisch Weekblad* 22(1925)86-90
86. J.J. van Laar, *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 139(1924)119-120
87. A.H.W. Aten, *Chemisch Weekblad* 33(1936)555-562. Vgl.: Symposium 'oplossingen en oplosbaarheid', gehouden te Leiden op 21 en 22 oktober 1938, waar Aten over 'oplosbaarheid van electrolyten' sprak (*Chemisch Weekblad* 35(1938)848-852)
88. J.J. van Laar, *Chemisch Weekblad* 33(1936)759-768
89. E.J.W. Verwey, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1966-1967, p. 341
90. Een overzicht van het Ramaneffect gaf G. Elsen, *Chemisch Weekblad* 29(1932)183-188, 194-200

V. Anorganische- en structuurchemie

Inleiding

Tegen het eind van de negentiende eeuw zag het er naar uit dat de anorganische scheikunde tot een soort afsluiting was gekomen. Het periodiek systeem van de chemische elementen, in 1869 gepubliceerd door de Rus Dmitri Ivanovitsj Mendelejev en de Duitser Julius Lothar Meyer en de coördinatieleer van de Zwitser Alfred Werner (1893) vormden prachtige ordeningsprincipes voor de veelheid van de anorganische verbindingen en waren en waren te vergelijken met de structuurleer voor organische verbindingen. Weliswaar toonde het periodiek systeem nog een groot aantal ‘open plekken’, maar door systematisch onderzoek konden deze in de loop van de jaren worden ingevuld. Ook de ruimtelijke structuur van de meer complexe anorganische verbindingen leek in beginsel te zijn opgelost.

Maar vanaf 1896 kwamen er een aantal revolutionaire ontwikkelingen, allereerst de ontdekking van de radioactiviteit, waardoor het begrip onveranderlijk atoom begon te wankelen. Hierop volgde de ontwikkeling van de atoomtheorie door Ernest Rutherford (1911) en Niels Bohr (1913), waardoor een theoretische basis voor het periodiek systeem werd verkregen. Vrijwel gelijktijdig kwam de ontdekking van de diffractie van röntgenstralen door kristallen (1912), waardoor exact ruimtelijk strutuuronderzoek van de materie pas goed mogelijk werd. Met deze twee ontdekkingen, alsmede de wisselwerking die zij op elkaar uitoefenden, gelukte het pas goed een theoretische behandeling van de chemische binding te ontwikkelen, die het karakter van de gehele scheikunde ingrijpend zou beïnvloeden.

In dit hoofdstuk zullen we de genoemde onderwerpen achtereenvolgens nader bezien.

Radioactiviteit

De ontdekking van de radioactiviteit door Henri Becquerel in 1896, gevolgd door de ontdekking en isolering van de onbekende radioactieve stof polonium door Marie Curie-Sklodowska in 1898, in hetzelfde jaar gevolgd door de ontdekking en isolering van radium door Marie en Pierre Curie, leidde onder andere tot de vraag of de radioactiviteit een algemene eigenschap van de stof is. Naar aanleiding van deze vraag zijn talrijke onderzoekingen gedaan, ook in ons land. Zo deed Ernst Hendrik Büchner (1880-1967) op het anorganisch-chemisch laboratorium van de Universiteit van Amsterdam radioactieve onderzoekingen, die door Holleman en Zeeman op de ver-

gaderingen van de Koninklijke Academie van Wetenschappen werden medegedeeld. Op 26 juni 1909 werd Büchners onderzoek ‘over de radioactiviteit van rubidiumverbindingen’ voorgelezen.[1.] Büchner vervolgde deze betrekkelijk tijdrovende onderzoekingen tot 1912[2.] en deed in de tussentijd ‘onderzoekingen over het radiumgehalte van gesteenten’[3.], waarin hij een tiental gesteenten van de Westkust van Sumatra onderzocht. In juli 1913 publiceerde hij in het *Chemisch Weekblad* de resultaten van een onderzoek naar ‘het radiumgehalte van enkele soorten modder’.[4.] Het ging hier om een modderbron in een klein meertje ‘dicht bij het dorp Rockanje (eiland Voorne)’, dat bekend stond om haar geneeskrachtige eigenschappen, in het bijzonder bij reumatische aandoeningen. Omdat daarvoor in Noord-Italië radioactief ‘fango’, een slijkmassa die zich in sommige meren op de bodem heeft afgezet, werd gebruikt, onderzocht Büchner op verzoek van D.T. Groenewoud, arts in Rockanje, of de daar gebruikte blauwgrijze modder eveneens radioactief was. Gevonden werd dat het radiumgehalte van de modder van Rockanje en van eveneens onderzochte fango ongeveer gelijk was en belangrijk hoger dan men meestal in gesteenten aantrof.

Het onderzoek van Büchner leidde een jaar later tot het verzoek van de eigenaren van het meertje om, in samenwerking met een geoloog, opnieuw een onderzoek in te stellen in verband met een eventuele exploitatie op grote schaal. Het onderzoek bevestigde de vroegere uitkomsten, maar leidde niet tot de gewenste exploitatie.[5.]

Grote belangstelling voor de radioactieve verschijnselen vinden we ook bij de twee vrienden Willem Paulinus Jorissen (1869-1959), sedert september 1900 leraar scheikunde en de technische toepassingen ervan, alsmede analytische meetkunde aan het Koninklijk Instituut voor de Marine in Den Helder en Willem Eduard Ringer (1874-1953), chemicus op het Rijksinstituut voor het Onderzoek der Zee, eveneens in Den Helder. Jorissen had in januari 1904 vijf miligram van een radiumpreparaat bij een firma in Hamburg aangeschaft, waarvan hij dacht dat het zuiver radiumbromide was.(Later bleek het preparaat veel minder radium te bevatten.[6.]) De proeven werden op het laboratorium van Ringer uitgevoerd, dat veel beter geoutilleerd was dan dat van Jorissen Allereerst werd ‘de werking van radiumstralen op chloorknalgas’ onderzocht.[7.] Een duidelijk positief resultaat werd niet verkregen. De proeven, die in januari 1905 werden afgesloten, ‘werden verricht met hulpmiddelen, ten deele bekostigd uit eene subsidie, aan een van ons welwillend verstrekt door het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen’.[8.]

Nadat de beide chemici in december 1905 een kwantitatief onderzoek afgesloten hadden over ‘de ontleding van jodoform in chloroform, door diffuus daglicht en door radiumstralen’[9.], hielden ze zich bezig met de ‘invloed van radiumstralen op chloorknalgas’, nu met een positief resultaat. Ook voor dit onderzoek hadden ze geld gekregen. ‘De kosten van deze proeven werden ten deele bestreden uit eene subsidie ons verleend door de vereeniging “Het Nederlandsch Natuur-en Geneeskundig Congres”’.[10.] In dezelfde tijd hadden ze tevergeefs de ‘invloed van radiumstralen op knalgas’ onderzocht, eveneens met een subsidie uit dezelfde bron.[11.]

Op 13 december 1907 hield Jorissen voor de natuurkundige sectie van het Genootschap ter bevordering van Natuur-, Genees- en Heelkunde te Amsterdam een voordracht over ‘de chemische werking van de straling en emanatie van radio-actieve stoffen’, waarin hij een overzicht gaf van de recente onderzoekingen,

waaronder die van Ringer en hemzelf, over de ‘werking van in glas besloten radium’ en van emana-

tie op chemische verbindingen.[12.] Na nog enige onderzoekingen over 'de werking van kathodestralen op uraanoxyduuloxyde' en op metallisch uraan en thoriumoxide[13.], werd de samenwerking in het begin van de zomer van 1908 beëindigd wegens het vertrek van Ringer als assistent van de hoogleraar pathologie en pathologische anatomie Cornelis Adrianus Pekelharing (1848-1922) naar Utercht. Jorissen was in maart van hetzelfde jaar benoemd tot lector in de anorganische en fysische chemie te Leiden. Samen met zijn opvolger als lerrar aan het. Koninklijk Instituut voor de Marine, de op 24 maart 1905 bij Schreinemakers in Leiden gepromoveerde Herman Wybe Woudstra (1868-1945), werd nog een onderzoek verricht over de werking van radium op colloïden.[14.]

De onderzoekingen van Jorissen en Ringer waren sterk geïnspireerd door gelijksoortige onderzoekingen in het buitenland. Ze laten de belangstelling zien voor nieuwe onderwerpen, maar van enige betekenis waren ze niet. Het 'mode-onder-zoek' leverde weinig significants op.

Analyse van kristalstructuren door röntgendiffractie

Op 8 juni 1912 bood Max von Laue aan de Bayerische Akademie der Wissenschaften zijn beroemde verhandeling 'Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen' aan. Von Laue was toen privaatdocent aan het door Arnold Sommerfeld geleide Institut für theoretische Physik van de Universiteit te München. Hij was op het idee gekomen röntgenstralen door kristallen te laten gaan en ontdekte daarbij aan de kristallen buigingsverschijnselen. Spoedig na deze ontdekking van de interferentie van röntgenstralen Spoedig na deze ontdekking van de interferentie van röntgenstralen aan kristallen onderzocht William Henry Bragg, Cavendish Professor of Physics aan de Universiteit te Leeds, met zijn zoon William Lawrence, student aan het Trinity College in Cambridge, systematisch kristalstructuren, uitgaande van het eenvoudigste roostertype, het kubische systeem. In 1915 kregen ze samen de Nobelprijs voor natuurkunde 'voor hun verdiensten voor de analyse van kristalstructuren door middel van röntgenstralen'. In ons land zagen Jaeger en Bijvoet spoedig de betekenis van deze nieuwe tak van de kristallografie voor de structuurchemie in.

Het kristallografisch onderzoek als hulpmiddel voor de chemische identificatie werd al in de vorige eeuw gebruikt door de Delftse hoogleraar Theodor Heinrich Behrens (1842-1905) en vooral door de Haagse privégeleerde Jan Willem Retgers (1856-1896). Later was ook Willem Stortenbeker (1862-1916), leraar aan de Hogere Krijgsschool in Den Haag, op dit gebied actief.

In Amsterdam hield Andreas Smits zich niet alleen bezig met fasentheoretische onderzoekingen. Vanaf het begin van de jaren twintig begon hij met röntgenstralen te werken en in de dertiger jaren met het in 1928 door Chandrasekhara Venkata Raman in 1928 ontdekte ramaneffect. Zijn assistent Johannes Martin Bijvoet werd privaatdocent in de kristallografie, röntgenanalyse en chemische thermodynamica (1922); een andere assistent Harm Gerding (1899-1991) werd in 1933 privaatdocent in de fotochemie.

Onmiddellijk na het nieuws van de sensationele ontdekking van Von Laue ontstond er een grote belangstelling in ons land voor de toepassing ervan op verschillende gebieden.[15.] Het röntgenonderzoek van werd zelfs een nationale traditie die in

Groningen met Jaeger is begonnen. Daar was sinds 1886 Herman Haga (1852-1936) hoogleraar in de natuurkunde. Met de fysicus Cornelis Harm Wind (1867-1911), die sinds 1895 lector in de mathematische fysica en fysische chemie was, had hij belangrijke onderzoekingen gedaan over de buiging van de in 1895 ontdekte röntgenstralen. In 1899 namen beide onderzoekers de diffractieverschijnselen van röntgenstralen waar, die ze als stralingsverschijnselen in de ether beschouwden.

Frans Maurits Jaeger (1877-1945)

Frans Maurits Jaeger had in Leiden scheikunde gestudeerd (1895-1900) en zich tevens op het geologisch museum bekwaamd in de mineralogie en de kristallografie.[16.] Op 9 oktober 1903 promoveerde hij bij Franchimont op het proefschrift *Kristallografische en molekulaire symmetrie van plaatsing-isomere benzolderivaten*. In 1904 werd Jaeger toegelaten als privaatdocent in Amsterdam. In 1908 werd hij, na het vertrek van Jacob Böeseken, in Groningen lector in de chemische propedeuse en in 1909 volgde daar zijn benoeming tot hoogleraar in de anorganische en fysische chemie. Van 1910-1911 werkte hij als research-fellow op de geofysische afdeling van het Carnegie Instituut in Washington, waar hij kennis maakte met de methoden voor metingen bij hoge temperaturen. Tevens bestudeerde hij de inrichting van het laboratorium, hetgeen van belang was voor het nieuwe chemische laboratorium in Groningen, waarvan de bouw in 1910 was begonnen en dat op 23 november 1912 door Jaeger feestelijk werd geopend. In 1916 werd zijn propedeutisch onderwijs in de chemie overgedragen aan de hoogleraar Hilmar Johannes Backer.

Jaegers wetenschappelijk onderzoek vertoont een grote veelzijdigheid. Hij werkte op vrijwel alle gebieden van de zuivere en fysische en zelfs op dat van de toegepaste scheikunde. In het middelpunt van zijn belangstelling stonden fysisch-chemische metingen bij hoge temperaturen en onderzoekingen over optische activiteit. Vooral na 1934 verrichtte hij tal van onderzoekingen op calorimetrisch gebied, die hij met steeds verfijnder hulpmiddelen uitvoerde.

Jaeger had zijn gehele leven een grote interesse in de symmetrie in de natuur en in het bijzonder in de wereld van de kristallen. In zijn *Lectures on the principle of symmetry and its applications in all natural sciences* (1917 en tweede druk in 1927) belichtte hij op verrassende wijze de rol van de symmetrie in de natuurwetenschappen. In 1924 verscheen zijn leerboek *Inleiding tot de studie der kristalkunde*. Jaeger probeerde met zijn leerlingen in zijn onderzoekingen de betrekkingen tussen de kristallografische eigenschappen, de symmetrie van rooster en molecuul en de optische activiteit van tal van complexe verbindingen vast te stellen.

In 1913 begon Jaeger met Haga aan röntgenografisch onderzoek van kristallen. In 1914 werd de structuur van boraciel, cordiriet en apophylliet bepaald; vervolgens werd systematisch de kristalsymmetrie uit röntgenogrammen van de verschillende kristalklassen bestudeerd. Later, vanaf 1927, deed hij belangrijk werk over röntgenografische structuurbepaling van ultramarijnen.

Met Jaeger kreeg Groningen een chemisch-kristallografische traditie, die voortgezet werd door zijn leerling en opvolger Pieter Terspstra (1886-1973), die op 11 mei 1917 in Groningen bij Haga was gepromoveerd (*Over het Peltier-effect in de thermoketens koper-kwik en kwik-nikkel*) en van 1939-1941 daar lector in de kristallografie was. Van 1941-1948 was hij buitengewoon hoogleraar in Amsterdam. In 1943

volgde tevens zijn benoeming tot buitengewoon hoogleraar in Groningen. In 1948 volgde zijn benoeming tot gewoon hoogleraar in de kristallografie en de mineralogie aan de Groningse universiteit. Zijn leerling Wiepko Gerhardus Perdok (*1914), die op 18 december 1942 bij Backer op *Physische eigenschappen van bolvormige moleculen* promoveerde, werd in 1955 lector in de kristallografie aan de Groningse Universiteit. De door hen gevormde school bleef het dichtst staan bij de klassieke geometrische kristallografie.

De Utrechtse-Amsterdamse school

Het in de scheikunde verankerde structuuronderzoek danken wij aan de Utrechtse-Amsterdamse school, onderzoek dat zich later ook tot de andere Nederlandse universiteiten zou uitbreiden. Al in april 1916 had de conservator op het Natuurkundig Laboratorium van de Leidse Universiteit, Wilhelmus Hendrikus Keesom (1876-1956) in het *Chemisch Weekblad* een artikel gepubliceerd: ‘De interferentie van röntgenstralen’[17.], maar invloedrijker waren een drietal voordrachten die Hendrik Antoon Lorentz op 6, 13 en 20 mei 1916 in de gehoorzaal van Teylers Stichting in Haarlem over ‘Röntgenstralen en structuur van kristallen’ had gehouden. Een samenvatting ervan werd door Willem Stortenbeker in het *Chemisch Weekblad* gepubliceerd.[18] Het waren deze voordrachten die voor Keesom aanleiding waren zich bezig te houden met het structuuronderzoek van kristallen.

Keesom, vooral bekend door zijn latere beroemde onderzoekingen over het helium, was sinds 1917 leraar in natuurkunde en fysische scheikunde aan 's Rijks Veeartsenijschool in Utrecht. Toen deze in 1918 de status van Veeartsenijkundige Hoogeschool kreeg, werd hij bevorderd tot hoogleraar. Hij bleef dat tot 1923 toen hij in Leiden benoemd werd als opvolger van zijn leermeester Heike Kamerling Onnes. Daar deed hij onder meer röntgenanalytische onderzoekingen bij zeer lage temperaturen, waaronder structuurbepalingen van de inerte gassen.

In Utrecht deed Keesom met zijn medewerker Nicolaas Hendrik Kolkmeyer (1875-1950)[19.] op het ‘Laboratorium voor Natuurkunde en Physische Scheikunde der Veeartsenijkundige Hoogeschool’ röntgenografische structuurbepalingen. De fysicus Kolkmeyer hield zich na zijn promotie op 9 juli 1915 in Amsterdam over *Eliminatie van de begrippen assenstelsel, lengte en tijd uit de vergelijkingen voor de planetenbewegingen* (bij de natuurkundige Remmelt Sissingh) als conservator aan de Veeartsenijkundige Hoogeschool (1916) en het Van 't Hoff-laboratorium (1926-1940) bezig met röntgenonderzoek van kristallen. Deze eerste onderzoekingen waren grotendeels verbonden met de onderzoekingen van Ernst Cohen over allotropie. Bijvoet merkte hier later over op: ‘It is indeed remarkable how great a part was played by allotropy in the first planning of the Dutch X-ray work. There were two professors of chemistry who had strong personal, and sharply opposite views regarding this phenomenon. Cohen at Utrecht wanted to call every substance physically impure, a *mixture* of different modifications. Smits, in Amsterdam, wanted to assume for every crystal the character of a *solid solution,* a dynamical equilibrium between different kinds of molecules. Both were eager to see their views confirmed with the aid of X-ray analysis - less willing to modify them according to its results!’[20.]

De eerste onderzoekingen deed Kolkmeyer met Adrianus Jan Bijl (1888-1948) over het vaststellen van de kristalstructuur van wit en grauw tin met behulp van de

poedermethode van Debye en Scherrer. Dit 'onderzoek met behulp van Röntgenstralen naar de kristalstructuur van wit en grauw tin' werd door Kamerlingh Onnes namens Keesom aan de Koninklijke Academie van Wetenschappen aangeboden en op de vergaderingen van 29 juni en 29 september 1918 voorgelezen.[21.] Bijl promoveerde op 18 december 1918 op het proefschrift *De bouw van wit en grauw tin* bij de Utrechtse natuurkundehoogleraar Samuel Leonard Ornstein en werd leraar natuuren scheikunde aan de Middelbare Koloniale Landbouwschool in Deventer.

Johannes Martin Bijvoet (1892-1980)

Intussen was ook in Amsterdam belangstelling voor het onderwerp onstaan. Hier had Johannes Martin Bijvoet interesse gekregen in het onderzoek van de structuur van kristallen door middel van röntgendiffractie.[22.] Bijvoet had scheikunde in Amsterdam gestudeerd (1910-1919) en was door een model van de keukenzoutstructuur, dat door Bragg door röntgendiffractie was bevestigd en dat op het Amsterdamse laboratorium was opgesteld, gefascineerd geraakt in kristallografie. Zijn leermeester Smits was geen voorstander van Braggs opvattingen over kristalstructuur, omdat hierin geen afzonderlijke moleculen zijn te onderscheiden die toch immers de grondslagen van de chemie vormen. Op 24 juni 1916 hadden Smits en Scheffer voor de Koninklijke Academie van Wetenschappen een voordracht gehouden over het door Bragg röntgenanalytisch bepaalde kristalmodel van keukenzout, waarin het natriumchloride opgevat werd als een eenvoudige ionenstapeling. Smits en Scheffer vonden dat 'met ons valentiebegrip niet te vereenigen', omdat dan volgens hen in vast natriumchloride zowel natrium als chloor zeswaardig zouden zijn. Bovendien is het model 'niet in staat een verklaring te geven van het bestaan van innerlijke evenwichten in de vaste phase', het centrale punt in Smits theorie van de allotropie.[23.] Toch stelde hij Bijvoet en diens vriend Albertus Karssen (1892-1934)[24.] voor in zijn laboratorium het kristalonderzoek met röntgenstralen aan te vangen. Bijvoet en Karssen gingen in 1919 voor drie maanden in de leer bij Keesom en Kolkmeyer in Utrecht. De twee vrienden begonnen hun werk met de bepaling van de kristalstructuur van natriumchloraat. Het onderzoek werd door Keesom op originele wijze verdedigd bij het ministerie van landbouw, waar de Veeartsenijkundige Hoogeschool onder viel. Het röntgenografisch onderzoek van koolstofverbindingen, van belang voor het dierlijke leven, was dringend noodzakelijk. En omdat natriumcarbonaat en natriumwaterstofcarbonaat mogelijk in het begin problemen zouden opleveren, was om te beginnen voor een 'analoge' structuur, natriumchloraat, gekozen.[25.] Na hun verblijf in Utrecht onderzochten Bijvoet en Karssen in Amsterdam de structuur van lithiumhydride en van natriumchloraat. Karssen promoveerde bij Smits op 27 juni 1923 op het proefschrift *X-ray investigation of the crystal structure of sodium bromate and sodium chlorate*. Hij bleef tot 1926 assistent van Smits, werd toen hoofdassistent op het Histologisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam, waar hij de röntgendiffractie op histologische onderwerpen toepaste, maar overleed reeds in 1934. Bijvoet promoveerde op 5 juli 1923 op *X-ray investigation of the crystal structure of lithium and lithium hydride*. Er onstond een nauwe samenwerking tussen de Utrechtse (Kolkmeyer) en de Amsterdamse (Karssen en Bijvoet) onderzoekers.

Bijvoet was ondertuss en in 1922 assistent voor anorganische chemie op het laboratorium van de Universiteit van Amsterdam geworden. Na zijn promotie verbleef hij



XV. Johannes Martinus Bijvoet (1892-1980), lector (1929) te Amsterdam en hoogleraar algemene en anorganische chemie (1939-1962) in Utrecht als opvolger van E. Cohen. Voerde in ons land de röntgenanalyse van kristallen in en bracht deze discipline tot grote bloei.

(met Karssen) korte tijd bij William Lawrence Bragg in Manchester, om vervolgens zijn onderzoek van kristallen met behulp van röntgenanalyse in Amsterdam voort te zetten. Het oplossen van een kristalstructuur was in de beginjaren vooral een tactiek van ‘trial and error’. Bijvoet zocht spoedig naar een systematische methode om daarmee uiteindelijk de bouw van de meest ingewikkelde natuurstoffen te achterhalen. Zijn originele en gedurfde onderzoekingen bleven niet onopgemerkt. In 1925 werd hij aan de Universiteit van Amsterdam toegelaten als privaatdocent in de kristallografie, röntgenanalyse en chemische thermodynamica. Vier jaar later werd hij benoemd tot lector in de kristallografie, de algemene en propedeutische beschrijvende mineralogie, de thermodynamica en de toepassingen ervan op chemische vraagstukken. Op 14 maart 1929 gaf hij zijn openbare les: *Onze kennis van den bouw van kristallen*.[26.] Een teleurstelling voor hem was dat, hoewel de natuurkundingen zijn onderwijs op hoge prijs stelden, de geologen geen belangstelling toonden voor het onderzoek van kristalstructuren. Met één uitzondering. Een van Bijvoets meest enthousiaste leerlingen werd Willem Nieuwenkamp (1903-1979), die in Utrecht geologie had gestudeerd en daarna onder leiding van Bijvoet zijn proefschrift *De structuurtypen van loodbromide en loodfluobromide en het structuurschema der dihalogeniden* had bewerkt, waarop hij op 19 december 1932 bij de Utrechtse geologiehoogleraar Louis Martin Robert Rutten promoveerde. Nieuwenkamp was van 1947-1968 hoogleraar in de mineralogie, de petrografie en de kristallografie in Utrecht. In 1939 werd Bijvoet benoemd tot gewoon hoogleraar in de algemene en anorganische scheikunde aan de Utrechtse Universiteit als opvolger van Ernst Cohen. Hij bleef dat tot zijn emeritaat in 1962. Met zijn benoeming werd het onderwijs en onderzoek in Utrecht grondig gewijzigd en verplaatste tevens het centrum van de kristallografie zich van Amsterdam naar Utrecht.

In Amsterdam deed Bijvoet vooral onderzoek over anorganische verbindingen, met name dihalogeniden. Tegen het eind van deze periode werd met twee medewerkers, Carolina Henriëtte MacGillavry (1904-1993) en Herman Jacobus Verweel (1901-1937)[27.], de structuur van de eerste organische verbinding, het barnsteenzuur, bepaald (1936). In Utrecht breidde Bijvoet zijn onderzoekingen uit op de organische chemie. Hier zag hij een nieuwe uitdaging in het vinden van een systematische methode voor de analyse van kristalstructuren, die uit organische moleculen van onbekende structuur zijn samengesteld. In het bijzonder richtte hij zijn aandacht op natuurlijke verbindingen met asymmetrische kristalstructuren. Het hoogtepunt van Bijvoets wetenschappelijk werk viel na de oorlog, toen hij de isomorfe vervangingsmethode voor de fasebepaling in de röntgendiffractie in 1949 in grotere mate ging toepassen en er opvallende successen mee bereikte. Uitgangspunt was een combinatie van de methode van de Nieuwe-Zeelandse fysicus A.L. Patterson voor de plaatsbepaling van een ‘zwaar’ atoom in een kristal (1934) en het experimentele gegeven dat sommige zware atomen vervangen konden worden door een lichter atoom zonder dat de kristalstructuur veranderde, bijvoorbeeld broom door chloor en seleen door zwavel. In 1951 ontwikkelde Bijvoet het briljante idee dat de waarneming van de anomale verstrooiing van röntgenstralen zowel een oplossing moest geven voor het probleem van de bepaling van de absolute configuratie van optisch actieve verbindingen met reeds bekende structuur als voor het fundamentele vraagstuk van het onbepaalde teken in het faseprobleem van de röntgendiffractie. Talrijke proefschriften

stammen uit deze periode. De promovendi Cornelis Bokhoven (1949), Jean Chaques Schoone (1950) en Antonius Franciscus Peerdeman (1955) hielden zich bezig met de structuurbepaling van het strychnine (1948). In 1951 lukte het Bijvoet en zijn medewerkers Peerdeman en Adrianus Johannes van Bommel de bepaling van de absolute configuratie van het rechtsdraaiende wijnsteenzuur.[28.] Voor zijn belangrijk en origineel onderzoek kreeg Bijvoet geen Nobelprijs, dit in tegenstelling tot de Oxfordse chemica Dorothy Crowfoot-Hodgkin, die in 1964 de Nobelprijs voor chemie kreeg voor haar structuurbepaling van penicilline en vitamine B_{12} met behulp van röntgenanalyse.

In 1928 publiceerden Bijvoet, Kolkmeyer en Karssen een bundel *Voordrachten over röntgen-analyse van kristallen*, die reeds in het *Chemisch Weekblad* waren verschenen. Een omgewerkte tweede druk door Bijvoet en Kolkmeyer verscheen als *Röntgen-analyse van kristallen* in 1938, waarvan in 1940 een Duitse vertaling uitkwam. Het was het eerste 'leerboek' van dit vak in het Nederlands, dat veel fysici en chemici vertrouwd maakte met deze nieuwe discipline.

Het is Bijvoet geweest die in ons land de röntgenanalyse van kristallen heeft ingevoerd en tot grote bloei heeft gebracht. Na zijn vertrek naar Utrecht werd zijn werk in Amsterdam door een van zijn leerlingen voortgezet: Carolina Henriëtte MacGillavry, die op 27 januari 1937 onder leiding van Bijvoet bij A.H.W. Aten sr. was gepromoveerd op *Röntgendiffractie van veelling-kristallen. De kristalstructuur van eenige diamminen*. MacGillavry was lector (1946) en hoogleraar (1950-1972) in de chemische kristallografie aan de Universiteit van Amsterdam, waar ze onder andere de oorzaak van de bekende afwisseling in eigenschappen van alifatische dicarbonzuren onderzocht en de oorzaak in de pakking van de carboxylgroepen vond. Dit laat de 'even' moleculen vlak, maar veroorzaakt een draaiing in moleculen met een oneven aantal koolstofatomen.[29.]

In Leiden werd J.A.A. Ketelaar (*1908) in 1935 assistent en conservator bij Van Arkel en het jaar erop als privaatdocent voor chemische kristallografie toegelaten. In zijn openbare les over *Röntgenanalyse en Chemie* (28 oktober 1936) wilde Ketelaar aantonen 'van welk een uitnemend belang de toepassing van de röntgenanalytische methoden voor de chemie is'.[30.] Na de belangrijkste resultaten van deze methode op het onderzoek van de structuur van silicaten, hoogmoleculaire stoffen en vloeistoffen te hebben besproken, eindigde hij met de opmerking: 'Ik hoop er in geslaagd te zijn, U er een denkbeeld van te hebben gegeven, welk een machtig hulpmiddel wij bij het onderzoek van de materie bezitten in de röntgenanalyse. In het bijzonder was het mijn bedoeling, U te tonen, dat deze onderzoekingsmethode voor vele belangrijke gebieden der chemie geheel onmisbaar is, en dat verscheidene vraagstukken slechts uitsluitend hiermee konden worden opgelost. In dit betoog ligt vanzelfsprekend de mening opgesloten, dat de kennis van de röntgenanalytische methode voor den chemicus onontbeerlijk moet worden geacht'.[31.] Ketelaar maakte een scherp onderscheid tussen de röntgenanalyse, d.w.z. de kristalstructuuranalyse - waartoe hij zich wilde beperken - en de röntgenspectroscopie, 'welke het mogelijk maakt elementen qualitatief aan te tonen door het geëmitteerde röntgenspectrum'.

In Groningen concentreerden de natuurkundehoogleraar Dirk Coster (1889-1950) en zijn leerling Jan Albert Prins (1899-1986), later hoogleraar natuurkunde in Wage-

ningen en Delft, zich juist op de röntgenspectraalanalyse. Met Coster, een leerling van Niels Bohr, begon met diens benoeming in 1924 in Groningen een opbloei van de experimentele natuurkunde in een moderne richting. Onder Costers leiding werd experimenteel onderzoek gedaan naar röntgenemissiespectra en röntgenabsorptiespectra. Na het vertrek van Coster naar Leiden (1940) en de benoeming van Prins in Delft (1946) kwam het röntgenspectroscopisch onderzoek op het natuurkundig laboratorium van de universiteit van Groningen tot een einde.

In 1950 bezat ons land verschillende centra voor röntgenografisch onderzoek. Behalve Utrecht (Bijvoet), Leiden (Van Arkel) en Amsterdam (MacGillavry) waren dat ook Groningen en Delft. In Groningen was Jaeger in 1946 opgevolgd door Eelko Herman Wiebenga (*1913), die op 12 juli 1940 bij Bijvoet was gepromoveerd op het proefschrift: *Atoomafstand en chemische binding. Röntgenanalyse va diphenyldiacetyleen en cyanuurzuur*. Wiebenga was van 1939-1946 assistent van Bijvoet in Utrecht en werkte van 1946-1978 in Groningen als hoogleraar anorganische chemie, met als werkterrein de structuurchemie. In Delft hield Wilhelm Gerard Burgers (1897-1988), die van 1940-1967 hoogleraar fysische chemie was, zich bezig met structuurchemie. Hij was van 1927-1940 werkzaam geweest op het natuurkundig laboratorium van Philips in Eindhoven. Burgers, die in Leiden en Groningen had gestudeerd, had bij W.L. Bragg op de Royal Institution in Londen kennis gemaakt met het röntgenografisch structuuronderzoek (1924-1927) en zich bij Philips vooral beziggehouden met metallografisch onderzoek. Zijn dissertatie (24 mei 1928) ging over *Röntgenografisch structuuronderzoek van eenige organische verbindingen*. Promotor was de organicus Backer, maar het experimentele werk was geheel uitgevoerd op het Davy-Faraday Research Laboratory van de Royal Institution of Great Britain te Londen.[32]

De chemische binding

Na de ontdekking van het elektron als universeel bestanddeel van de materie door de Britse fysicus Joseph John Thomson in 1897, kon men dit deeltje zinvol gebruiken bij de verklaring van de binding tussen de atomen in het molecuul. Als eerste deed Thomson dit zelf met zijn atoommodel, waarin negatieve deeltjes, in stabiele configuratie gerangschikt, in een bol van homogene positieve lading roteren (1899). In de wiskundige uitwerking van zijn theorie (1904) veronderstelde hij op het ogenblik van de vorming van een verbinding dat overdracht van ‘corpuscles’ (elektronen) plaatsvindt van een atoom naar een ander. ‘The electronegative atoms will thus get a charge of negative electricity and the electropositive atoms one of positive, the oppositely charged atoms will attract each other, and a chemical compound of the electropositive and electronegative atoms will be formed’.[33] Het probleem was al direct de toepassing van Thomsons ideeën op minder polaire verbindingen.

De grondslag van de moderne valentietheorie stamt vooral van Lewis en Kossel. Walther Kossel, fysicus aan de Technische Hochschule in München, had in december 1915 een artikel ‘Über Molekülbildung als Frage des Atombaus’ aan de redactie van de *Annalen der Physik* aangeboden, waarin hij de chemische eigenschappen van een atoom met het aantal elektronen in de buitenste schil verklaarde.[34] Kossel gebruikte

concentrische elektronenschillen, maar gaf geen atoommodel en beperkte zich vooral tot polaire bindingen.

In januari 1916 zond de Amerikaanse chemicus Gilbert Newton Lewis van het College of Chemistry aan de Universiteit van Berkeley in Californië een artikel 'The Atom and the Molecule' aan de redactie van *The Journal of the American Chemical Society*.[35] Hierin beschreef Lewis een statisch kubisch atoommodel voor de verklaring van de chemische binding. De elektronen in een atoom zijn gerangschikt op de hoekpunten van een kubus. Ieder atoom streeft er naar acht elektronen in zijn buitenste schil te hebben. De binding in polaire verbindingen vindt dus plaats als gevolg van elektronenoverdracht en vorming van tegengesteld geladen ionen. In verbindingen als HCL en I_2 vormen de elektronen een elektronenpaarbinding tussen de atomen door twee kubussen, die met hun ribben of vlakken tegen elkaar liggen. Dit idee van de chemische binding (door Langmuir covalente binding genoemd) als een elektronenpaar dat tussen twee atomen wordt vastgehouden, was volgens Linus Pauling de voornaamste bijdrage van Lewis tot de scheikunde.[36] Lewis wees het dynamisch atoommodel van Niels Bohr (1913) af omdat daarin de elektronen draaien en hij niet inzag hoe daarbij gerichte valenties mogelijk zijn. Pas in 1923, in zijn bekende boek *Valence and the structure of atoms and molecules*, nam Lewis de atoomtheorie van Bohr aan en gaf hij een nieuwe en uitgebreide versie van zijn theorie.

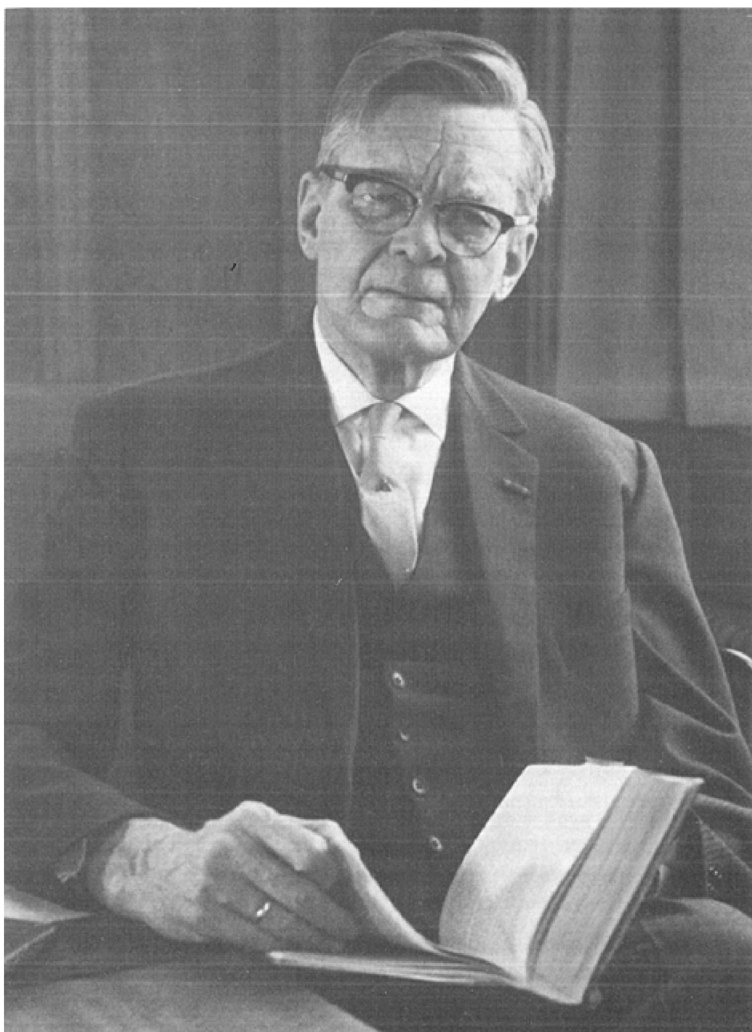
Lewis' theorie van de elektronenpaarbinding trok in het begin weinig aandacht. Dat veranderde in 1919 na de 'herontdekking' en uitwerking door Irving Langmuir, een chemicus die verbonden was aan het researchlaboratorium van de General Electric Company in Schenectady, New York.[37] Langmuir maakte een duidelijker onderscheid dan Lewis tussen homopolaire en heteropolaire verbindingen en introduceerde de termen elektrovalentie, covalentie en octet. De nieuwe opvattingen over de chemische binding, spoedig bekend als de Lewis-Langmuir-theorie, werden nu weldra algemeen aanvaard door de scheikundige gemeenschap en verder ontwikkeld en uitgebreid, onder andere door Nevil Vincent Sidgwick met zijn *The Electronic Theory of Valency* (1927). Sidgwick verklaarde met zijn theorie van de coördinatieve binding dat in zuurstofzuren elektronenparen voorkomen die afkomstig zijn van één en hetzelfde atoom.[38] Vanaf 1931 beschreef Linus Pauling de chemische binding op golfmechanische grondslag. Zijn toepassing van de golfmechanica op het probleem van de chemische binding is wellicht de belangrijkste ontwikkeling van de scheikunde in de eerste helft van de twintigste eeuw.

Lewis' veronderstelling dat 'the atomic shells were mutually interpenetrable', zodat een elektron 'may form a part of the shell of two different atoms and cannot be said to belong to either exclusively'[39], werd het hoofdbeginsel van de nieuwe kwantummechanica en liet het gemak zien waarmee dit concept in de nieuwe taal van de kwantumfysica kon worden vertaald. De nieuwe opvattingen over de structuur van de materie werden snel in overzichtsartikelen aan de lezers van het *Chemisch Weekblad* bekend gemaakt. Zo besprak Hein Israel Waterman ruim een maand na zijn promotie op 3 maart 1913 voor het Delftsch Natuurwetenschappelijk Gezelschap de 'nieuwere opvattingen omtrent chemische affiniteit'[40] en schreef de latere natuurkundehoogleraar aan de Universiteit van Amsterdam Jacob Clay (1882-1955), toen leraar in Delft en privaatdocent aan de Technische Hogeschool, in augustus 1916 - kennelijk gedurende de zomervacantie - een overzichtsartikel over 'de bouw van het

atoom'. Clay behandelde daarin de theorie van Bohr, besprak de recente publicatie van Kossel over de chemische binding en stelde vast, zonder daar overigens dieper op in te gaan, dat 'allerlei vragen over chemische eigenschappen en valentie met behulp van het atoommodel van Bohr goed gesteld zullen kunnen worden'.[41] Drie jaar later hield de Leidse theoretisch natuurkundige Paul Ehrenfest (1880-1933) voor de Nederlandsche Chemische Vereeniging een voordracht over 'de ligging der electronenbanen binnen het atoom en het periodiek systeem der elementen'[42], terwijl Büchner naar aanleiding van het juist verschenen boek van Francis William Aston, *Isotopes* (1922), voor het Natuur - en Geneeskundig Congres te Maastricht een lezing over dit onderwerp hield, welke direct in het *Chemisch Weekblad* werd gepubliceerd.[43] Op 28 maart 1930 hield Hendrik Anthony Kramers (1894-1952), toen hoogleraar theoretische natuurkunde in Utrecht, voor de Amsterdamse Chemische Kring een lezing over 'moderne molecuultheoreën', waarin hij een schets gaf van de grondslagen van de kwantummechanica en vaststelde: 'We hebben tegenwoordig redenen te over om aan te nemen, dat de quantummechanica ons in principe in staat stelt om de structuur en eigenschappen van de meest ingewikkelde atomen en moleculen nagenoeg precies van te voren te berekenen, m.a.w. dat de verklaring der chemische verschijnselen heden een vraagstuk van uitsluitend wiskundigen aard is'.[44] In zijn voordracht behandelde Kramers de toepassing van de kwantummechanica op het vrije atoom en op het waterstofmolecuul, zoals toen recent in 1927 door de fysici Walter Heinrich Heitler en Fritz. Wolfgang London was gedaan. Hij hoople met zijn voordracht over de moderne theorie van de chemische affiniteit 'den indruk gevestigd te hebben, dat, al moge er op dit moeilijke gebied nog slechts een begin gemaakt zijn, dit begin toch zeker gezichtspunten heeft geopend, die beloften voor een toekomstige, meer volledige theorie inhouden'.[45] In hetzelfde jaar 1930 publiceerde het *Chemisch Weekblad* een vertaling van een voordracht die Irving Langmuir als voorzitter van de American Chemical Society had gehouden over 'moderne opvattingen in de physica en hare betrekking tot de chemie'[46] Hoewel de Nederlandse scheikundigen aan het ontstaan van deze nieuwe inzichten over de aard van de chemische binding nauwelijks fundamentele bijdragen hebben geleverd, is het wel de vraag wat men in ons land met deze ontwikkeling deed.

De chemische binding als elektrostatisch verschijnsel: Anton Eduard van Arkel (1893-1976) en Jan Hendrik de Boer (1899-1971)

Op 26 oktober 1934 hield Anton Eduard van Arkel (1893-1976) zijn inaugurele rede als hoogleraar in de anorganische en fysische scheikunde aan de Leidse universiteit. Hij had scheikunde in Utrecht gestudeerd, waar hij op 1 juli 1920 bij H.R. Kruyt was gepromoveerd op het proefschrift *Uitvlokkingssnelheid van het seleensol.* Van 1921 tot 1934 was Van Arkel als researchchemicus aan het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips Gloeilampenfabriek in Eindhoven verbonden. Zijn Leidse leerstoel zou in 1947 worden gewijzigd in anorganische scheikunde. (De fysische scheikunde werd toen toevertrouwd aan zijn leerling C.J.F. Böttcher.)



XVI. Anton Eduard van Arkel (1893-1976), van 1934 tot 1964 hoogleraar anorganische en fysische chemie te Leiden, die in 1929 als medewerker op het Philips Natuurkundig Laboratorium met zijn collega Jan Hendrik de Boer (1899-1971) de chemische binding als een elektrostatisch verschijnsel beschreef.

In Leiden begon Van Arkel een geheel nieuwe lijn van onderzoek. Zijn voorganger F.A.H. Schreinemakers kwam uit de fasentheoretische school van Bakhuis Roozeboom en de lector W.P. Jorissen had het onderzoek van explosieverschijnselen als onderzoeksgebied gekozen. In zijn oratie sprak Van Arkel over *Nieuwere inzichten in de scheikunde*, inzichten die door de natuurkunde worden verschaft.[47] Het waren zowel nieuwe beschouwingswijzen als nieuwe experimentele hulpmiddelen (zoals de röntgenanalyse en de analyse met behulp van elektronenstralen) die de scheikunde de laatste decennia sterk hadden beïnvloed. Volgens de theorie van Kossel is de elektrostatische aantrekking tussen de atomen de oorzaak van de chemische binding. 'Het enorme voordeel van deze beschouwingswijze is nu, dat hiermede het probleem der chemische binding is teruggebracht tot een eenvoudig probleem der electrostatica'.[48] Uiteraard was de opvatting van de chemische binding als een elektrostatisch verschijnsel een eerste benadering van het probleem, die geldig is voor de heteropolaire, maar niet voor de homopolaire binding 'waarvan het wezen ons eerst iets duidelijker geworden is door de ontwikkeling der golfmechanica'.[49] Hier doet zich - aldus Van Arkel - echter het probleem voor dat 'de golfmechanische behandeling der chemische binding [...] zeer groote mathematische moeilijkheden mede[brengt], die voor den chemicus schier onoverwinnelijk moeten worden genoemd'. Vandaar dat het gebied van de homopolaire binding tot dan toe in hoofdzaak door theoretische fysici was bewerkt.

In het levensbericht van Van Arkel schreef E.J.W. Verwey: 'De wedergeboorte van de anorganische chemie na ongeveer 1920 is - niet alleen in ons land - voor een belangrijk deel het werk van Van Arkel geweest. Hij schiep een heel nieuwe benadering van het vak, die men vergelijkende anorganische chemie zou kunnen noemen, waarvan hij de principes ontvouwde in zijn oratie, in 1934. Bepalend was daarbij zijn streven, het ingewikkelde verschijnselen-patroon van de anorganische chemie te ordenen en te begrijpen met behulp van zo eenvoudig mogelijke fysische principes'.[50] In zijn afscheidscollege als hoogleraar aan de Leidse universiteit (29 mei 1964) gaf Van Arkel een overzicht van 'welke resultaten bereikt zijn met een methode, beter een model, dat ik jaren geleden gekozen had, omdat het naar mijn mening een praktische basis voor het begrip van een belangrijk deel van de anorganische chemie zou kunnen vormen'.[51]

Opvallend is dat aan een andere, zeer belangrijke ontwikkeling in de anorganische scheikunde pas na de Tweede Wereldoorlog in ons land significant aandacht zou worden geschonken, namelijk aan de tegen het eind van de vorige eeuw door Alfred Werner ontwikkelde coördinatieleer. Bekend was die theorie zeker. A.F. Holleman besprak ze aan het eind van zijn *Leerboek der anorganische chemie*. De laatste paragraaf van de derde druk van dit boek uit 1906 behandelt in vier bladzijden de 'ammoniakverbindingen van de metalen der achtste groep'; de geheel herziene vierde druk uit 1911 wijdt negen bladzijden aan de 'metaalammoniakverbindingen. Werners uitbreiding van het valentiebegrip'.[52] In deze druk vinden we het door Werner gemaakte onderscheid tussen hoofd- en nevenvalenties, alsmede het door hem ingevoerde begrip coördinatiegetal, het getal dat 'aangeeft hoeveel afzonderlijke groepen of atomen in maximo met het elementairatoom in direkte verbinding kunnen staan'. Maar de coördinatiebinding van Werner paste, evenmin als de covalente binding tussen gelijke atomen, in het geheel niet in het ionenmodel van Van Arkel en De Boer. Welis-

waar besteedden dezen in hun boek *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel* aandacht aan de theorie van Werner, maar in de inleiding schrijven ze: ‘De theorie van Werner blijft, van hoeveel beteekenis zij ook geweest moge zijn en nog is, in zooverre onbevredigend, dat zij zich in het geheel niet uitlaat over *den aard der valentie*’.[53]

In zijn afscheidscollege als buitengewoon hoogleraar in de organische chemie aan de Utrechtse Universiteit (22 september 1983) wees Gerrit Johan Meine van der Kerk (*1913) op de grote voorsprong die de organische chemie kort voor de eeuwwisseling had op de anorganische chemie. ‘Terwijl sinds het midden van de 19e eeuw de organische chemie [...] over een logisch en consistent structuur-systeem beschikte, had men voor de grillige samenstelling van vele metaalverbindingen geen structurele verklaring’.[54] De doorbraak in de anorganische structuurchemie kwam met het werk van Werner, maar ‘noch de organometaalchemie, noch de coördinatiechemie [hebben] vanuit de Nederlandse chemie-beoefening [...] significante impulsen [...] ontvangen’.[55] Daarvoor moeten we tot na 1950 wachten, toen Van der Kerk in Utrecht als directeur van het Organisch Chemisch Instituut TNO (1946-1975) en vanaf 1957 als hoogleraar de stoot gaf tot de Nederlandse beoefening van de organometaal- en coördinatiechemie.

Nadat Van Arkel in 1921 als researchchemicus naar Eindhoven was gegaan, hield hij zich vooral bezig met onderzoekingen over metalen en dipoolmomenten en met de invloed ervan op macroscopische eigenschappen van de materie, waaronder cohesie, kookpunt, oplosbaarheid en diëlektriciteitsconstante. Van groot belang was zijn methode voor de bereiding van zeer zuiver wolfraam, titaan en zirkoon door dissociatie van de damp van hun halogeniden aan een gloeiende kerndraad. Deze methode werd ontwikkeld met de chemicus Jan Hendrik de Boer (1899-1971) en de wetenschappelijk medewerker Johan Diedrich Fast (1905-1991), die beiden in 1923 in dienst van het Natuurkundig Laboratorium van Philips waren gekomen.

Toen Van Arkel op het laboratorium van Philips een begin maakte met zijn werkzaamheden, wees de natuurkundige Gillis Holst (1886-1968), die vanaf 1914 bij Philips het Natuurkundig Laboratorium had opgezet en de grote pionier van het industrieel onderzoek in ons land was, ‘mijn aandacht op een reeks verhandelingen van Kossel. Kossel ontwierp daarin een uiterst simpel model voor de chemische binding, die volgens deze auteur uitsluitend zou zijn terug te brengen tot de elektrostatische aantrekking, die de tot ionen geworden atomen in de verbinding op elkaar uitoefenen. Met mijn collega Dr. J.H. de Boer hebben wij toen dit idee verder uitgewerkt, en daarbij ingezien, hoe met behulp van dit eenvoudige model allerlei verschijnselen in de anorganische chemie inderdaad op verbluffend eenvoudige wijze te begrijpen waren. Maar aan de andere kant werd het tevens duidelijk, dat bepaalde andere verschijnselen onmogelijk met dit model in overeenstemming te brengen waren’, aldus Van Arkel in 1964.[56]

Van Arkel en De Boer beseften zeer goed dat hun poging de binding tussen atomen en moleculen met behulp van ionenladingen en polariseerbaarheden te verklaren, niet zonder meer te gebruiken was voor de binding in zuren en vooral niet voor de binding tussen gelijke atomen, zoals in chloor. ‘In die tijd ontstond uit de toen nog zeer jonge quantenmechanica een geheel ander beeld der chemische binding, dat on-

getwijfeld theoretisch veel beter gefundeerd was dan het primitieve ionenmodel en dat bovendien juist datgene, wat het ionenmodel niet kon beschrijven (in het bijzonder de binding tussen gelijke atomen, als in het Cl_2), voortreffelijk weergaf. Daarmede had het ionenmodel in de ogen van bijna alle vooraanstaande chemici afgedaan en iemand, die nog aan het verouderde ionenmodel vasthield, kon niet op enige waardering of aanmoediging rekenen'.[57] Maar het 'theoretisch zo fraaie quantenmechanische model' had het grote nadeel dat het alleen in de meest eenvoudige gevallen bruikbaar was. Bij toepassing op iets meer gecompliceerde verbindingen bleken de wiskundige moeilijkheden onoverkomelijk te zijn. Vandaar dat Van Arkel - zoals hij dat uitdrukte - 'toch zo eigenwijs [was] geweest, haast tegen beter weten in, het ionenmodel als uitgangspunt van de theorie der anorganische chemie te blijven gebruiken'.[58]

In zijn afscheidsrede verwijst Van Arkel naar de theoretisch fysicus Hendrik Anthony Kramers die hem steeds een hart onder de riem stak door op te merken dat het ionenmodel bij voorzichtig gebruik zeker als goede eerste benadering mag worden toegepast. Kramers, die in 1926 benoemd was tot hoogleraar theoretische natuurkunde in Utrecht, had eind van dat jaar een lezing van Van Arkel over de chemische binding bijgewoond, welke op de theorie van Kossel was gebaseerd. Kramers had zich toen echter zeer kritisch over de theorie van Kossel uitgelaten omdat deze geheel niet-kwantummechanisch was.[59] Toen Van Arkel in 1964 terugkeek op zijn Leidse hoogleraarschap trok hij de conclusie 'dat ik in die tijd blijkbaar dacht dat wij uit het ionenmodel alreeds alles gehaald hadden wat er in zat'.[60]

De neerslag van zijn onderzoekingen publiceerde Van Arkel in samenwerking met De Boer in 1929 in een vijftiental artikelen in het *Chemisch Weekblad*, die werden gebundeld en uitgebreid in het boek *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel* (1930, met supplement in 1937 en Duitse, Engelse en Franse vertaling). Later schreef Van Arkel *De bouw der moleculen volgens de theorie van Kossel* (1930 en tweede druk in 1936), 'een omgewerkte en eenigszins uitgebreide inhoud van eene voordrachten-cursus gehouden voor het genootschap 'Diligentia' te's-Gravenhage', en in 1941 *Moleculen en kristallen*, waarvan in 1961 nog een geheel vernieuwde vijfde druk verscheen.

Van Arkels elektrostatische benadering van de chemische binding maakte het in zijn tijd mogelijk de tot dan toe heterogene massa van experimentele gegevens uit de anorganische chemie eenvoudig te classificeren en leidde tot tal van nieuwe onderzoekingen. Hij paste haar ook toe in de organische scheikunde. De resultaten van deze onderzoekingen werden in de veertig dissertaties, die onder zijn leiding zijn bewerkt, neergelegd. Met zijn model kon Van Arkel met een paar fundamentele constaten van ionen (lading, straal, polariseerbaarheid) en van atomen (ionisatiepotentiaal, elektronenaffiniteit) een groot aantal eigenschappen van anorganische verbindingen bepalen en verklaren, zoals de bindingsenergie, vormingswarmte, structuur van de moleculen en kristallen, vluchtigheid, hydratatie- en oplosbaarheidsenergie, sterkte van zuren en basen, oppervlakte-energie van kristallen, enz.

Van Arkel zag duidelijk in dat het elektrostatisch model het scheikunde-onderwijs nieuwe impulsen kon geven, zowel op universitair als op middelbaar niveau. Evert Verwey (1905-1981) merkte later over de *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel* op: 'Op mij als student heeft dit werk een zeer grote indruk gemaakt,

Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel

door

Dr. A. E. VAN ARKEL en

Dr. J. H. DE BOER.



N.V. D. B. CENTEN's UITG. MAATSCHAPPIJ AMSTERDAM.
1930

XVII. Titelblad van het invloedrijke Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel (1930 met supplement 1937), waarvan spoedig Duitse, Engelse en Franse vertalingen verschenen

omdat het aan het toenmalige chemische denken een geheel nieuw facet toevoegde: het denken in interatomaire en intermoleculaire krachten in de interpretatie van de eigenschappen van de stof. Een injectie van de fysica in de chemie[...]. Het werk van Van Arkel en De Boer haalde, evenals later de geleidelijke ontwikkeling en toepassing van de quantummechanische theorie van de chemische binding, de scheikunde uit een situatie, waarin het vak dreigde te verschralen in een formele beschrijving van feitenmateriaal, fasendiagrammen en reactie-schema's'.[61] De Leidse hoogleraar in de fysische chemie Albert Jan Staverman (1912-1993), die van 1929-1936 in Groningen had gestudeerd, merkte in zijn memoires op: 'Omstreeks 1930 was het onderwijs in de fysische chemie in heel Nederland wat ouderwets en met uitzondering van Kruyt in Utrecht waren de hoogleraren bejaard'.[62] Verandering kwam pas tussen 1930 en 1940, het eerst door de benoeming van Van Arkel in Leiden, bij wie hij op 9 december 1938 op *Cohaesie-krachten in vloeibare mengsels* was gepromoveerd.

Van Arkels wens om in het middelbaar schoolonderwijs begrip bij te brengen voor zijn opvattingen over de chemische binding, leidde tot verschillende artikelen in het *Chemisch Weekblad*, van hem alleen en in samenwerking met Nicolaas Alfred Brunt (1906-1975) (1934, 1935). Uiteindelijk leidde dit tot het *Leerboek der scheikunde gegrond op atoommodel en op periodiek systeem*, dat Van Arkel samen met Hendrik Geerling Sebo Snijder, een promovendus van Ernst Cohen[63] en leraar aan het gymnasium te Leiden, schreef (1936-1937).

Van Arkel en De Boer behandelden hun theorie van de chemische binding met de elektrostatische theorie van Kossel, waarin het mechanisme van de chemische binding tussen twee atomen op elektronenoverdracht berust en waarin de niet-polaire binding een onvolledige overdracht van een elektronenpaar is. In hun *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel* komt Lewis pas in een van de laatste paragrafen, 'de grenzen der electrostatische theorie', voor met de opmerking dat 'Lewis [...] een der eersten [is] geweest, die zich over de homoiopolaire binding een bepaald beeld gemaakt heeft'.[64] Terwijl volgens Kossel in het tetrachloormethaanmolecuul de vier elektronen van het koolstofatoom verdeeld zijn over de vier chlooratomen, neemt Lewis aan dat uit de vier elektronen van het koolstofatoom met vier maal een van de elektronen van de chlooratomen vier elektronenparen worden gevormd. De binding tussen een chlooratoom en het koolstofatoom wordt veroorzaakt door zo'n elektronenpaar. 'Op het eerste gezicht zijn beide standpunten zoo verschillend, dat een verzoening onmogelijk schijnt', aldus de schrijvers, maar dat is niet geheel juist: 'Wij hebben er al reeds eerder op gewezen, dat door sterke polarisatie het model van Kossel meer en meer zal gaan naderen tot het model van Lewis'.[65]

Met Van Arkel begon in ons land een nieuwe richting van fysisch-chemisch onderzoek, namelijk de toepassing van de theorie van Kossel op de verschijnselen van de chemische binding. Het had echter tien tot twintig jaar geduurd eer de fysische opvattingen van Kossel over de aard van de chemische binding door chemici waren 'ontdekt'. In het begin van de jaren dertig, toen de fysische chemie in ons land nog sterk werd beheerst door leerlingen van Bakhuis Roozeboom, die de studie van fasenevenwichten het voornaamste doel van de fysische chemie vonden, waren de poging van Van Arkel en De Boer daarin verandering aan te brengen voor de nieuwe generatie jonge chemici bijzonder welkom. Zij wilden in plaats van een fenomenolo-

gische, thermodynamische beschrijving van de verschijnselen deze verklaren met het gedrag van de atomaire of moleculaire bestanddelen van de bestudeerde systemen. Een ijverige propagandist van de microscopische interpretatie van thermodynamische verschijnselen was J.J. van Laar, die echter al sedert 1907 in Zwitserland woonde.[66] Een andere in het buitenland wonende en werkende landgenoot, P. Debye, probeerde de binding tussen atomen in moleculen te verklaren met behulp van ionladingen en polariseerbaarheden. Kwantumfysici als Walter Heinrich Heitler, Fritz London, Hans Albrecht Bethe, Erich Hückel, Friedrich Hund en Robert Andrew Millikan gaven waardevolle bijdragen tot het begrijpen van de chemische binding.

De introductie van de kwantumchemie in ons land

In 1925 publiceerde Hendrik Jan Prins (1889-1958) in het *Chemisch Weekblad* een artikel over 'affiniteit, valentie en electronen'.[67] Prins was scheikundig technoloog en in 1912 in Delft bij J. Böeseken gepromoveerd. Hij was chemicus bij Polak en Schwartz' Essencefabrieken (1912) en algemeen bedrijfsleider (1926) en directeur (1932) van de Nederlandsche Thermochemische Fabrieken. Prins was een scherpzinnig en origineel denker, die naast een wetenschappelijk-technische ook een grote filosofische belangstelling had. In het *Chemisch Weekblad* van 1925 gaf hij een kritisch overzicht van de toenmalige pogingen om de chemische affiniteit en de valentie in verband te brengen met de elektronen waaruit het atoom is opgebouwd. Hij onderscheidde statische modellen, waaronder dat van Lewis en Langmuir en dynamische modellen (Kossel) en kwam tot de conclusie dat 'de chemische binding [...] gekarakteriseerd [is] door een verschuiving van een of meer electronen, welke in het uiterste geval een volkomen overdracht is'.[68] Erg enthousiast was hij er overigens niet over. 'Wanneer wij nagaan welke resultaten de behandelde beschouwingen voor de chemie opleveren, dan blijken deze niet bijster groot te zijn'.[69] Alleen wanneer er een volkomen overdracht van een of meer elektronen is, is de theorie bruikbaar. Uiteindelijk kwam hij tot de ietwat cryptische gevolgtrekking: 'Uit het bovenstaande blijkt, dat de invoering der electronen in de oude formalistische theorieën omtrent affiniteit en valentie niet voldoende is. Een verdieping van ons inzicht kan alleen verkregen worden, indien men uitgaat van een algemeene energetische opvatting omtrent de wederzijdsche veranderingen der atomen, maar dan stelt de kennis omtrent den atoombouw ons ook in staat velerlei verschijnselen tot in bijzonderheden, althans qualitatief, te verklaren'.[70]

Doorbladeren van het *Chemisch Weekblad* laat zien dat Prins niet de enige was die de lezers op de hoogte bracht van de toen nieuwe opvattingen over de natuur van de chemische binding. Vooral de elektrostatische opvattingen van de Duitse fysici Johannes Stark (1915) en Walther Kossel (1916) trokken de aandacht en werden onder andere besproken door de Rolducse leraar Willem Jacobs (1918)[71] en de Leidse chemisch kandidaat Antoine Eugène Lacomblé (1919)[72], beiden leerlingen van Schreinemakers.[73] Op 16 maart 1928 hield Evert Verwey, toen nog chemisch kandidaat te Amsterdam, op het fysisch-chemisch colloquium een voordracht over 'polaire opvatting van de koördinatieve valentie'.[74]
Kwantummechanica kwam - zij het later - aan

de orde in een aantal artikelen van de Delftse technoloog Guillaume Elsen: 'Moderne quantenmechanica en het benzolprobleem' (tussen 1933 en 1940).[75]

Opvallend is dat de chemici, die over de nieuwe kwantummechanische theorieën in het *Chemisch Weekblad* schreven grotendeels tot de jongere generatie behoorden en niet tot de gevestigde universiteitshoogleraren.

Op 15 april 1936 hield Van Arkel een voordracht voor de Algemene Vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging.[76] In 1927 was het bekende artikel van Walter Heinrich Heitler en Fritz Wolfgang London verschenen, waarin een eerste poging werd gedaan op basis van de kwantummechanica de covalente chemische binding tussen twee waterstofatomen te beschrijven. Van Arkel stelde in zijn voordracht 'dat het probleem der chemische binding in wezen is opgelost', hoewel niet door de scheikunde. 'De oplossing van het probleem is niet uit de scheikunde zelf voortgekomen; de scheikunde heeft het materiaal verzameld, heeft het probleem als het ware gesteld, en de theoretische natuurkunde heeft de oplossing kunnen geven'. Van deze oplossing, de golfmechanica, menen veel scheikundigen dat ze met chemie niet veel meer heeft te maken. De toegepaste methoden zijn bovendien verre van eenvoudig en 'wanneer wij de berekening der energie van het waterstofmolecuul willen begrijpen, dan kost ons dit een zekere inspanning door de vele mathematische hulpmiddelen, die worden aangewend, en die den chemicus in het algemeen vreemd zijn'.

Van Arkel licht nu aan de hand van de berekening van de bouw van het waterstofatoom toe, dat de gedachtengang van de golfmechanica niet zo moeilijk is, hoewel de oplossing van de verkregen differentiaalvergelijkingen niet eenvoudig is. Voor het waterstofmolecuul is de oplossing van de golfvergelijking echter veel lastiger en voor moleculen die uit twee verschillende atomen bestaan vrijwel onoplosbaar. 'Het ligt echter voor de hand, dat wij nu een benaderende oplossing kunnen vinden door uit te gaan van een geheel ander beeld, nl. van het electrostatische, waarbij wij aannemen, dat het molecuul uit twee ionen is opgebouwd'. Cesiumfluoride is het ideale voorbeeld van een heteropolaire verbinding (cesium is het meest positieve en fluor het meest negatieve element). Vervangen we in CsF het cesium door minder uitgesproken positieve en fluor door minder uitgesproken negatieve elementen, dan komt in de verbinding steeds meer het homopolaire karakter te voorschijn. 'Voor practische toepassingen zullen wij nu in vele gevallen van deze homoiopolaire effecten kunnen afzien, en probeeren een beeld der anorganische scheikunde te ontwerpen, dat uitgaat van het heteropolaire, electrostatische beeld'.

De vraag is of 'het electrostatische beeld op den duur tegen zijn concurrent het zal kunnen volhouden'. Van Arkel hoopte van wel: 'het zou ons inderdaad heel wat moeite sparen, als wij zoodoende het moeilijke homoiopolaire beeld zouden kunnen omzeilen'.

Jan Arnold Albert Ketelaar (*1908)

De eerste die in ons land de chemische binding in termen van de kwantummechanica beschreef, was Jan Arnold Albert Ketelaar, die in Amsterdam onder A. Smits over fasenevenwichten en onder J.M. Bijvoet over röntgenstralenanalyse van anorganische stoffen had gewerkt en op 4 juli 1933 was gepromoveerd op het proefschrift *Monomorphe overgangen in de kristalstructuren van zilverkwikjodide, aluminiumfluoride*

en natriumnitraat. Promotor was Smits, de man die hij later zou opvolgen. Na zijn promotie ging Ketelaar naar Leiden, als hoofdassistent en later conservator, met als taak de invoering van de röntgenanalyse. Van Arkel was er toen juist hoogleraar geworden. In 1936 werd hij toegelaten als privaatdocent voor chemische kristallografie en van 1940-1941 was hij lector in de fysische en anorganische chemie als opvolger van W.P. Jorissen. Van 1941-1960 was Ketelaar hoogleraar fysische chemie, chemische thermodynamica en chemische kristallografie aan de Universiteit van Amsterdam. In 1960 werd hij researchdirecteur van de Koninklijke Zout Industrie (thans onderdeel van het concern Akzo Nobel). Hij bleef van 1960-1978 als buitengewoon hoogleraar in de elektrochemie aan de Universiteit van Amsterdam verbonden.[77]

Van groot belang was een beurs van drieënhalve maand die Ketelaar in 1937 kreeg om te gaan werken bij Linus Pauling op diens laboratorium aan het California Institute of Technology in Pasedena. Pauling had in 1928 een unificerende behandeling gepubliceerd van de toepassing van de kwantummechanica op een tweetal diatomaire systemen, namelijk het waterstofmolecuul en het waterstofmolecuulion. Tussen 1931 en 1933 schreef hij in *The Journal of the American Chemical Society* een zevental uiterst belangrijke artikelen over 'the nature of the chemical bond', waarin 'it will be shown that many more results of chemical significance can be obtained from the quantum mechanical equations, permitting the formulation of an extensive and powerful set of rules for the electron-pair bond supplementing those of Lewis'[78]. De artikelen werden in 1939 in boekvorm uitgegeven: *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals. An Introduction to Modern Structural Chemistry*. Dit boek deed het onderwijs in de scheikunde wezenlijk veranderen en oefende er tot de vijftiger jaren een grote invloed op uit. Een van de oorzaken van dat succes lag vooral in het feit dat Pauling zijn lezers met succes probeerde te overtuigen dat de kwantummechanica voor de chemicus niet te moeilijk was. Hij deed dat door vooral de nadruk te leggen op de empirische gegevens waarop de inhoud van zijn boek was gebaseerd.

In het voorwoord, gedateerd juni 1938, schreef Pauling: 'I formed the opinion that, even though much of the recent progress in structural chemistry has been due to quantum mechanics, it should be possible to describe the new developments in a thorough-going and satisfactory manner without the use of advanced mathematics'. En wat verder: 'The principal contribution of quantum mechanics to chemistry has been the suggestion of new ideas, such as the resonance of molecules among several electronic structures with an accompanying increase in stability'.

Bij Pauling maakte Ketelaar kennis met de kwantumchemie. 'In 3,5 maand heb ik daar hard gewerkt in een zeer stimulerende omgeving bij de grootste chemicus die ik ooit heb ontmoet. [...] Naast experimentele onderwerpen heb ik ook van Pauling veel quantumchemie geleerd en zo berekeningen uitgevoerd over het karakter van de CCl bindingen in gesubstitueerde etheen- en benzeenverbindingen. Vergelijkingen van de 5de graad moesten worden opgelost met een elektrisch aangedreven mechanische rekenmachine'.[79] Terug in Leiden - waar hij 'naar hij geloofde' het eerste college over kwantummechanica in ons land gaf[80] - voltooide Ketelaar in december 1938 als resultaat van zijn discussies met Pauling een tweetal artikelen: 'A quantum mechanical discussion of the carbon-chlorine bond in the chlorine substitution derivatives of ethene and benzene' en 'A quantum mechanical discussion of the dipole moments of

monochlorobenzene and of vinylchloride'.[81] Het bezoek van Ketelaar aan Pauling leidde tot de introductie van de kwantummechanica in scheikundig Nederland. Ketelaar hield voordrachten voor chemici, alsmede een vacantiecursus voor leraren, waaruit zijn *De chemische binding. Inleiding tot de theoretische chemie* (1947) ontstond, een inspirerend studieboek voor de jongere generatie chemici. Duidelijk is de invloed van Pauling merkbaar, vooral in de behandeling van anorganische complexen. Het werk was het eerste boek in onze taal dat het probleem van de chemische binding beschreef vanuit een kwantummechanisch gezichtspunt. In het voorwoord lezen we de wetenschappelijke instelling van de schrijver: 'Scheikundige kennis, alleen gegrond op empirische gegevens, verbonden slechts door phenomenologische theorieën, bevredigt den onderzoeker niet langer. Het 'waarom' wordt gesteld, ook al kan zeer vaak het antwoord niet worden gegeven. Zo wordt echter wel de bodem bereid, waaraan nieuwe, vruchtbare, onderzoekingen, zowel op theoretisch als op experimenteel gebied, kunnen ontspruiten'.

In zijn Amsterdamse oratie *Theorie en experiment in de scheikunde* (13 oktober 1941) vergeleek Ketelaar twee soorten van theorie in de scheikunde: de macroscopische, waarin het gedrag van de stof door thermodynamische grootheden wordt beschreven, en de microscopische of atomaire theorieën, zoals de theorie van de elektrostatische valentie van Van Arkel en De Boer. De eerste theorieën zijn beschrijvend, de tweede verklarend van aard. Ketelaar verwijst naar Van 't Hoff, die in 1898 had geschreven: 'Unverkennbar ist das Bestreben der Neuzeit, allmählig die erste, rein thermodynamische Auffassung, auf Kosten der zweiten, der molekularen, zu entwiekelen, was behim immerhin hypothetischen Charakter der letzteren seine Berechtigung hat'.[82] In 1907 had Ketelaars leermeester enrkt, dat hij 'van oordeel [was], dat er slechts bij gewonnen kan worden, wanneer wij trachten door middel van moleculaire theoretische beschouwingen dieper in het wezen der verschijnselen door te dringen'.[83] Dank zij de moderne natuurkunde bleek dit ook snel mogelijk te zijn, hoewel Ketelaar in 1941 moest concluderen: 'Terwijl het op de thermodynamica gegrondveste deel der theoretische chemie tot op zekere hoogte een afgesloten geheel vormt, is de ontwikkeling van de atomaire theorie heel wat minder ver gevorderd. Als het centrale probleem kan hier het vraagstuk der chemische binding worden gesteld'.[84] De golfmechanica levert in beginsel het wiskundig instrument om dit probleem op te lossen, maar bij toepassing op systemen waarin meer dan twee elektronen een rol spelen, zijn de complicaties onoplosbaar. Op de vraag of 'een zelfstandige theoretische chemie reeds mogelijk' is, gaf Ketelaar een voorzichtig antwoord. 'Ik meen, dat dit voorshands niet het geval is, het tastende voorwaarts gaan langs het theoretische pad vereist een voortdurende toetsing aan het experiment'.[85] Vandaar zijn pleidooi voor een streven 'naar een synthese [tussen theorie en experiment] op straffe van een anders onvermijdelijke verminking onzer wetenschap'.[86]

Ketelaars wetenschappelijk werk vóór zijn hoogleraarschap in Amsterdam (1931-1941) ging vooral over de kristalstructuur van meest anorganische verbindingen en over het probleem van de chemische binding. Als hoogleraar (1941-1960) hield hij zich in hoofdzaak bezig met infraroodspectroscopie, maar ook onderzocht hij in opdracht van de industrie insecticiden.

Eindnoten:

1. E.H. Büchner, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 18(1909)91-94
2. E.H. Büchner, 'De radioactiviteit van rubidium- en kaliumverbindingen', *Verslag* 20(1912)1338-1343
3. E.H. Büchner, *Verslag* 19(1910)210-216
4. E.H. Büchner, *Chemisch Weekblad* 10(1913)748-751
5. E.H. Büchner, 'De radioactiviteit der modder van Rockanje', *Chemisch Weekblad* 15(1918)243-246; A.H. Blaauw, 'Antwoord op Dr. Büchners artikel "de radioactiviteit van het meertje van Rockanje"', *Chemisch Weekblad* 15(1918)361-364
6. W.P. Jorissen, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 65(1946)320
7. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 2(1905)41-47 en *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 38(1905)899-904
8. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 2(1905)47
9. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 2(1905)799-802
10. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 3(1906)457-461 (461)
11. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 3(1906)499-503 en *Berichte* 39(1906)2093-2098
12. W.P. Jorissen, *Chemisch Weekblad* 4(1907)868-871. Zie ook: W.P. Jorissen en W.E. Ringer, 'Actions chimiques des rayons du radium', *Archives Néerlandaises sciences exactes et naturelles* (2)12(1907)157-174
13. W.P. Jorissen en W.E. Ringer, *Chemisch Weekblad* 4(1907)242-246 en 476-479. De proeven over de werking van kathodestralen op een aantal stoffen werden later in Leiden met de fysicus Johan Adriaan Vollgraff (1877-1965) voortgezet. (*Chemisch Weekblad* 11(1914)832-837; 12(1915)741-744)
14. W.P. Jorissen en H.W. Woudstra, *Chemisch Weekblad* 7(1910)941-948 en 9(1912)340-341. Woudstra promoveerde op het proefschrift: *Over de werking van electrolyten op kolloidale zilveroplossingen en over het proces der coagulatie* (24 maart 1905)
15. Vgl.: J.M. Bijvoet, in: *Fifty years of X-ray diffraction*. Ed. P.P.Ewald (Utrecht, 1962), pp. 469-476
16. Over Jaeger: *Chemisch Weekblad* 31(1934)181-212 en 43(1947)67-71
17. W.H. Keesom, *Chemisch Weekblad* 13(1916)366-392

18 *Chemisch Weekblad* 13(1916)789-800

19. J.M. Bijvoet, *Chemisch Weekblad* 37(1940)394
20. J.M. Bijvoet, *Fifty years of X-ray diffraction*, p. 470
21. A.J. Bijl en N.H. Kolkmeyer, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 27(1919)191-194, 352-358 en 359-362. Zie ook: Bijl en Kolkmeyer, *Chemisch Weekblad* 15(1918)1077-1078 en 1264
22. Over Bijvoet: *Chemisch Weekblad* 68(1972), 4 februari, pp. 11-12; *Chemisch Weekblad. Chemische Courant* 76(1980), 20 maart, pp. 126-127; *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1980, pp. 163-167 en M.P. Groenewege en A.F. Peerdeman, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 29(1983)27-41
23. A. Smits en F.E.C. Scheffer, 'De interpretatie der Röntgenogrammen van kristallen', *Verslag* 25(1916)318-324
24. J.M. Bijvoet, *Chemisch Weekblad* 31(1934)242-243
25. M.P. Groenewege en A.F. Peerdeman, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 29(1983)29; N.H. Kolkmeyer, J.M. Bijvoet en A. Karssen, 'Onderzoek met Röntgenstralen naar den bouw der kristallen van natriumchloraat en natriumbromaat', *Verslag* 29(1920)117-126. In 1924 verscheen nog een gezamenlijk Utrechts - Amsterdams onderzoek over 'de kristalstructuur van kwiksulfide', *Verslag* 33(1924)327-329, 828-831
26. J.M. Bijvoet, *Chemisch Weekblad* 26(1929)158-163
27. H.J. Verweel was op 22 juni 1931 bij A. Smits gepromoveerd op *De kristalstructuur van mercuribromide*.
28. A.F. Peerdeman, A.J. van Bommel en J.M. Bijvoet, 'Determination of absolute configuration of optical active compounds by means of X-rays', *Proceedings of the section of sciences. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 54B(1951)16-19
29. Over MacGillavry: A. Looijenga - Vos, *Levensberichten en herdenkingen 1993. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* (Amsterdam, 1994), pp. 53-59
30. J.A.A. Ketelaar, *Chemisch Weekblad* 33(1936)648-654 (648)
31. J.A.A. Ketelaar, *Chemisch Weekblad* 33(1936)648-654 (654)

32 Over Burgers: P.M. de Wolff, *Jaarboek Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 1989, pp. 135-140
33 J.J. Thomson, *Philosophical Magazine* (6)7(1904)262-263
34 W. Kossel, *Annalen der Physik* 49(1916)229-362
35 G.N. Lewis, *The Journal of the American Chemical Society* 38(1916)762-785

36 L. Pauling, *Journal of Chemical Education* 61(1984)201-204
37 I. Langmuir, 'The arrangement of electrons in atoms and molecules', *The Journal of the American Chemical Society* 41(1919)868-934
38 Vgl.: R.E. Kohler, Jr., 'The Origins of G.N. Lewis' Theory of the Shared Pair Bond', *Historical Studies in the Physical Sciences* 3(1971)343-376; 'Irving Langmuir and the Octet Theory of Valence', *idem* 4(1972) 39-87 en 'The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920-1928', *idem* 6(1975)431-468. Ook: K. Gavroglu en A. Simoes, 'The Americans, the Germans, and the beginnings of quantum chemistry: The influence of diverging traditions', *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 25(1994)47-110
39 G.N. Lewis, *The Journal of the American Chemical Society* 38(1916)772
40 H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 10(1913)223-227
41 J. Clay, *Chemisch Weekblad* 13(1916)1079-1103 (1093)
42 P. Ehrenfest, *Chemisch Weekblad* 16(1919)1037-1044
43 E.H. Buchner, *Chemisch Weekblad* 20(1923)314-319
44 H.A. Kramers, *Chemisch Weekblad* 27(1930)406-411 (407)
45 H.A. Kramers, *Chemisch Weekblad* 27(1930)411. Vgl.: Kramers, 'Quantentheorie en chemie', *Handelingen van het XXIVe Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres gehouden te Wageningen op 18, 19 en 20 April 1933* (Haarlem, 1933), pp. 95-96
46 I. Langmuir, *Chemisch Weekblad* 27(1930)314-325; *The Journal of the American Chemical Society* 51(1929)2847-2868
47 A.E. van Arkel, *Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde* 1(1934)273-287
48 A.E. van Arkel, *Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde* 1(1934)278
49 A.E. van Arkel, *Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde* 1(1934)280
50 E.J.W. Verwey, 'Levensbericht van Anton Eduard van Arkel', *Jaarboek Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 1976, pp. 184-192 (184). Over Van Arkel ook: E.W. Gorter en F.C. Romeyn, *Chemisch Weekblad* 60(1964)298-308 en E.J.W. Verwey, *Chemisch Weekblad* 72(1976), 16 april, p. 7
51 A.E. van Arkel, *Chemisch Weekblad* 60(1964)573-578 (573).
52 A.F. Holleman, *Leerboek der anorganische chemie* (Groningen, derde druk, 1906), pp. 554-558; (Groningen, vierde druk, 1911), pp. 589-598
53 A.E. van Arkel en J.H. de Boer, *Chemisch Binding als Electrostatisch Verschijnsel* (Amsterdam, 1930), p. 3
54 G.J.M. van der Kerk, *Een halve eeuw chemische bindingen. Afscheidscollege gegeven op 22 september 1983* (z.j.;z.p.), pp. 2-3
55 G.J.M. van der Kerk, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1983), p. 188
56 A.E. van Arkel, *Chemisch Weekblad* 60(1964)573
57 A.E. van Arkel, *Chemisch Weekblad* 60(1964)573
58 A.E. van Arkel, *Chemisch Weekblad* 60(1964)574
59 Vgl.: M. Dresden, *H.A. Kramers. Between tradition and revolution* (New York enz., 1987), pp. 460-461
60 A.E. van Arkel, *Chemisch Weekblad* 60(1964)574
61 E.J.W. Verwey, *Chemisch Weekblad* 65(1969), 27 juni, p. 14
62 A.J. Staverman, in: *Werken aan scheikunde*, p. 174
63 H.G.S. Snijder promoveerde op 10 december 1934 bij E. Cohen op *Physische isomerie bij pikraten*.
64 A.E. van Arkel en J.H. de Boer, *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel*, p. 291
65 A.E. van Arkel en J.H. de Boer, *Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel*, pp. 291-292
66 Vgl.: G.J. Hoytink, *Annual Review of Physical Chemistry* 21(1970)7
67 H.J. Prins, *Chemisch Weekblad* 22(1925)302-311. Over Prins: *idem*, 54(1958)401-403
68 H.J. Prins, *Chemisch Weekblad* 22(1925)310-311
69 H.J. Prins, *Chemisch Weekblad* 22(1925)306
70 H.J. Prins, *Chemisch Weekblad* 22(1925)311
71 W. Jacobs, 'De valentie-hypothese van J. Stark', *Chemisch Weekblad* 15(1918)1476-1483, 1566-1571. Jacobs bespreekt daarin de valentietheorie van Johannes Stark uit het derde deel van diens *Prinzipien der Atomdynamik* (Leipzig, 1915).
72 A.E. Lacomblé, 'Het atoommodel van Rutherford-Bohr', *Chemisch Weekblad* 16(1919)832-834 en 'Grundlinien einer Valenztheorie', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 93(1919)257-274
73 W. Jacobs promoveerde bij Schreinemakers op *Invloed van zouten op het evenwicht in het stelsel water-aceton* (16 december 1914) en A.E. Lacomblé op *Reactiesnelheid en katalyse* (28 mei 1920).
74 E.J.W. Verwey, *Chemisch Weekblad* 25(1928)250-254
75 G. Elsen, *Chemisch Weekblad* 30(1933)310-317, 322-328; 33(1936)679-687; 36(1939)763-773 en 37(1940)39-48, 199-209
76 A.E. van Arkel, 'Chemische binding', *Chemisch Weekblad* 33(1936)454-457

77 Over Ketelaar, zie: G.J. Oudemans, *Chemisch Weekblad* 16 september 1993, p. 4
78 L. Pauling, *The Journal of the American Chemical Society* 53(1931)1367
79 J.A.A. Ketelaar, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), p. 92
80 J.A.A. Ketelaar, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), p. 93
81 J.A.A. Ketelaar, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 58(1939)266-276 en 311-315. In Pasadena schreef Ketelaar een artikel met J. Sherman, 'A Quantum mechanical discussion of the carbón-chlorine bond in substituted ethylenes and benzenes', dat gepubliceerd werd in *Physica* 6(1939)572-579
82 J.H. van 't Hoff, *Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie* (Braunschweig, 1898). Heft I, pp. 4-5
83 A. Smits, *De chemie in hare oude en nieuwe banen* (Delft, 1907), p. 18
84 J.A.A. Ketelaar, *Theorie en experiment in de scheikunde* (Amsterdam, 1941), p. 9
85 J.A.A. Ketelaar, *Theorie en experiment in de scheikunde*, p. 12
86 J.A.A. Ketelaar, *Theorie en experiment in de scheikunde*, p. 3

VI. Organische chemie

Inleiding

De bijdragen van de Nederlandse chemie aan de ontwikkeling van de organische scheikunde vloeiden voort uit de inzichten van Van 't Hoff, die begin september 1874 de tetraëdrische omringing van het koolstofatoom in zijn stereochemie had gepostuleerd. Tien jaar later verschenen zijn *Études des dynamique chimique* (1884), handelend over de snelheid waarmee chemische reacties verlopen, de theorie van het chemische evenwicht en de affiniteitstheorie.

De beoefening van de systematische organische scheikunde begon in ons land in 1874 met de benoeming van Antoine Paul Nicolas Franchimont (1844-1919) tot buitengewoon hoogleraar in de organische chemie aan de Rijksuniversiteit Leiden. In 1877 werd hij benoemd tot gewoon hoogleraar. In zijn oratie *De verschillende richtingen der chemie, blikken in het verleden, het heden en de toekomst dier wetenschap* (2 mei 1874), gaf Franchimont als belangrijkste doel van de scheikunde de bepaling van de structuur van de verbindingen en daarin onderscheidde hij twee richtingen: de statica en de dynamica.[1] 'Wij kennen nu wetten volgens welke de atomen verbonden moeten zijn om onderling in evenwicht te wezen; maar wat we nog niet weten is de ligging der atomen ten opzichte van elkaar in de ruimte, waarvan de vorm der moleculen afhangt'. Als een van de toekomstige taken van de organische scheikunde zag Franchimont 'die ligging der atomen in de moleculen en de wetten waarvan zij afhangt te bepalen'.[2] Behalve de statica is de dynamica van de atomen, waarvan de 'wetten [...] nog geheel in het duister [liggen] en om ze te kunnen ontdekken zal er nog veel empirisch moeten vastgesteld worden', een taak voor de organicus.[3]

Met Franchimont en zijn leerlingen begon de moderne organische chemie in ons land. Zo deed Pieter Johannes Montagne (1867-1925), die op 14 december 1899 bij Franchimont gepromoveerd was op *De inwerking van reëel salpeterzuur op drie isomere chloorbenzoëzuren en eenige derivaten*, als conservator van het Leidse organisch-chemische laboratorium (sinds 1908) interessant onderzoek naar intramoleculaire (atoom) verschuivingen, in het bijzonder naar reacties waarbij de fenylgroep van één plaats in het molecuul naar een andere verhuist.[4] Verschillende van Franchimonts leerlingen zetten het onderzoeksprogramma van hun leermeester als hoogleraar voort: A.F. Holleman, C.A. Lobry van Troostenburg de Bruyn, P. van Romburgh en H.J. Backer. Op hun beurt vormden ook zij organisch-chemische scholen. Van hen overleed de Amsterdamse hoogleraar Lobry de Bruyn al in 1904. Hilmar Johannes Backer (1882-1959), die op 6 juli 1911 bij Franchimont promoveerde op het proefschrift *De nitraminen en hunne electrochemische reductie tot hydrazinen*, was van

1916-1952 hoogleraar organische chemie in Groningen. Hij bestudeerde vooral fysisch-chemische aspecten van de organische scheikunde en onderzocht onder meerdere organische zwavelverbindingen, organometaalverbindingen en spiranen.[5] Backer was de opvolger van Johan Fredrik Eykman (1851-1915), die zich gedurende zijn hoogleraarschap voornamelijk had beziggehouden met zorgvuldige refractometrische bepalingen.

Grote bekendheid kreeg Holleman door zijn onderzoekingen over de substitutie bij aromatische verbindingen en de toepassing van de fasenleer van Bakhuis Roozeboom bij het onderzoek van organische reacties. Zijn leerling Wibaut had eveneens grote belangstelling voor substituties in de benzeenkern. Een andere leerling van Holleman, Böeseken, vormde aan de Technische Hogeschool te Delft een school van organici, waaronder de latere hoogleraren S.C.J. Olivier, P.E. Verkade en J. Coops. Daar werkte ook een belangrijke groep promovendi, die geen hoogleraarsfunctie zouden krijgen en tegenwoordig als de ‘Delftse School’ worden aangeduid. We komen op hen nog uitvoerig terug.

Op 20 mei 1916 hield Backer zijn inaugurele oratie over *Macht en idealen der organische chemie.* Het oorspronkelijke doel van de organische synthese was de natuurproducten op te bouwen uit eenvoudige stoffen. Die synthetische methode bleek ook in staat tal van verbindingen te maken die niet of nooit in de natuur zullen voorkomen, waaronder de explosieve stoffen. ‘De organische chemie streefde haar doel voorbij. Ze verwijderde zich steeds verder van de natuur’.[6] De macht van de synthese is zelfs vrijwel onbeperkt ‘en men vraagt zich wel eens af, of het niet mogelijk zou wezen tot zulke groote moleculen te komen, dat ze waarneembaar zijn, dat hun afmetingen overeenkomen met het oplossend vermogen der microscoop’.[7] Daarvan zijn we weliswaar nog ver verwijderd, maar de natuurkunde komt ons te hulp door in plaats van het gewone licht röntgenstralen te gebruiken. ‘Hiermede schijnt één der grootste idealen van den organicus te worden vervuld, de waarneming van de rangschikking der atomen in het molecuul’. Het opsporen van het verband tussen de bouw van de moleculen en de fysische eigenschappen was voor Backer een van de voornaamste problemen, ‘een der nuttigste idealen van de organische chemie’.[8] De scheikunde heeft zich van haar zusterwetenschappen natuurkunde en biologie steeds meer verwijderd, maar in de laatste jaren is er weer een toenadering gekomen en juist op de grensgebieden van deze wetenschappen zijn de mooiste ontdekkingen gedaan. ‘Een gemeenschappelijk werken, denken en zoeken moet ons doen naderen tot het doel, het ideaal van den natuuronderzoeker, het begrip der natuur’. [9] Wat is er uitgekomen van Backers ontboezemingen?

Arnold Frederik Holleman (1859-1953) en zijn leerlingen

Arnold Frederik Holleman (1859-1953) studeerde scheikunde in Leiden (1879) en Heidelberg (1883) en promoveerde op 26 maart 1887 bij Franchimont over *Onderzoekingen over het zoogenaamde β-nitrocymol.*[10] Van zijn leermeester leerde hij nauwgezet en kritisch werken en kreeg hij zijn liefde voor organisch-chemische problemen. Na zijn promotie werd Holleman korte tijd assistent van de bekende Duitse



XVIII. Arnold Frederik Holleman (1859-1953), hoogleraar organische chemie in Groningen (1893-1905) en in Amsterdam (1905-1924), schrijver van het talrijke malen herdrukte en vertaalde Leerboek der organische chemie (1896) en het Leerboek der anorganische chemie (1898). Kreeg grote bekendheid door zijn onderzoekingen over de substitutie bij aromatische verbindingen.

organicus Adolf von Baeyer in München en daarna van Van 't Hoff in Amsterdam. Von Baeyer deed toen zijn bekende onderzoekingen over het benzeen. Hij 'had een paar jaar te voren zijn spanningstheorie ontwikkeld en was midden in zijn geniale onderzoekingen over de structuur van het benzol, waardoor Ladenburg's prismaformule voor goed als ondoeltreffend werd verklaard', aldus Holleman in zijn afscheidscollege (1924).[11] In 1889 werd Holleman benoemd tot directeur van het toen juist opgerichte Rijkslandbouwproefstation in Groningen en in september 1893 volgde zijn benoeming tot hoogleraar in de anorganische en de organische chemie aan de Groningse universiteit als opvolger van de wegens zijn gezondheid afgetreden Rudolph Sicco Tjaden Modderman (1831-1924). In december 1904 werd Holleman de opvolger van de overleden Cornelis Adriaan Lobry van Troostenburg de Bruyn (1857-1904) aan de universiteit van Amsterdam. Hij bleef dat tot zijn emeritaat in 1924 en overleed als nestor van de Nederlandse chemici op bijna 94-jarige leeftijd in 1953.

In Groningen moest Holleman de gehele chemie doceren. Wel werd twee jaar na zijn aantreden (1895) de fysicus Cornelis Harm Wind (1867-1911) benoemd tot lector in de mathematische fysica en de fysische chemie.

De naam Holleman is thans vooral nog bekend door zijn *Leerboek der organische chemie* (1896) en *Leerboek der anorganische chemie* (1898), die met hun talrijke opeenvolgende drukken generaties scheikundestudenten sterk hebben beïnvloed. Zijn onderzoeksprogramma laat zien dat Holleman veel meer was dan een succesvol leerboekenschrijver. In zijn Groningse oratie van 21 oktober 1893, *Twee richtingen der scheikunde met elkander vergeleken,* namelijk de organisch-preparatieve en de fysisch-mathematische richting, blijkt duidelijk het belang dat Holleman voor de organische chemie zag in de toepassing van fysisch-chemische methoden. 'De physische en de organische richting der scheikunde mogen door het voorgaande eenigszins gekenmerkt zijn. Ieder heeft zijne eigen vraagstukken, maar beide kunnen elkander bij de oplossing daarvan onschatbare diensten bewijzen. Hoe meer de beoefenaars van beide richtingen dit in het oog houden; hoe meer er van weerszijden waardeering voor ieders streven bestaat, met des te zekerder gang zal de scheikunde vooruitgaan'.[12] Ook in zijn Amsterdamse oratie van 27 februari 1905, *Over de beteekenis der physisch-chemische methoden voor de organische chemie,* wijst hij hierop: 'Overal, waar de physische methoden in de organische chemie hebben ingegrepen, is hunnen invloed te bemerken als eene opklaring der denkbeelden, aan eene scherpere omlijning van het theoretische standpunt'.[13] Dit was het motief dat als een rode draad door het gehele werk van Holleman loopt.

Het gebruik dat Holleman maakte van fysisch-chemische methoden bij zijn onderzoek, toont de grote invloed van Van 't Hoff, wiens assistent hij van 1887-1889 was geweest. We zien dit ook uit onderwerpen waarop zijn eerste Groningse leerlingen promoveerden: *Over de oplosbaarheid van eenige niet-electrolyten in mengsels van aethylalcohol en water* (August Constantijn Antusch op 12 juli 1894) en *Over de verzeepingssnelheid van eenige esters bij inwerking van kali en van zoutzuur* (Bonno van Dijken op 8 1895). Maar Hollemans belangstelling ging spoedig uit naar het onderzoek over de substitutie in de benzeenkern, waaraan zijn naam blijvend zou worden verbonden. De vraag op welke plaats bij substitutie van een monoderivaat de tweede substituent komt, was al lang onderwerp van onderzoek van de organisch-

chemici. In 1874 had Wilhelm Körner, hoogleraar organische chemie aan de landbouwhogeschool in Milaan, gevonden dat bij intreding van een tweede groep in een gesubstitueerd benzeen in hoofdzaak hetzij ortho- en para-, hetzij meta-producten ontstaan. Holleman wilde de tot dan toe bekende experimentele gegevens overzichtelijk samenvatten en rangschikte daartoe systematisch de substituenten in twee reeksen van ortho-para-richters en meta-richters. Bij zijn eigen onderzoekingen gebruikte hij fysisch-chemische methoden als hulpmiddel. In mei 1899 publiceerde Holleman een algemene methode om drie isomere benzeenderivaten naast elkaar te bepalen welke hij had getoetst aan de nitrering van benzoëzuur.[14] Op 27 mei 1899 bood Lobry de Bruyn de Academie van Wetenschappen een verhandeling van Holleman aan: 'Nitratie van benzoëzuur en van zijne methyl- en aethylesters'. Op 23 december 1905 hield Holleman, inmiddels van Groningen naar Amsterdam verhuisd, op de buitengewone algemene vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging een voordracht over 'het probleem van de substitutie in de benzolkern'[15], dat het onderzoeksprogramma bevat waarvan de grondslagen in Groningen waren gelegd.

Met zijn talrijke leerlingen voerde Holleman een groot aantal kwantitatieve nitreringen, halogeneringen en sulfoneringen uit, eerst van mono-, later ook van hogere benzeenderivaten en van derivaten van naftaleen. Het tijdrovende werk leidde tot de opsporing van wetmatigheden die de invoering van een tweede substituent in het monogesubstitueerde nogesubstitueerde benzeen beheersen en de factoren die hierbij een rol spelen. Bestudeerd werd uiteraard ook de tegenstelling tussen para-ortho- en meta-substitutie. De onderzoekingen voerden ook tot de studie van de reactiesnelheden. Nodig was een goede methode voor de kwantitatieve bepaling van de hoeveelheden van de verkregen isomeren. In welke verhouding ontstaan deze en hoe hangt die verhouding af van de uitwendige omstandigheden? Hier blijkt de invloed van het fasentheoretische werk van Bakhuis Roozeboom, dat door Holleman werd gedoceerd.

Nadat de kwantitatieve gegevens bij de vorming van de disubstitutieproducten in voldoende mate waren verkregen, was de volgende stap de invoering van een derde substituent en de invloed van plaats die deze onder invloed van de beide re aanwezige substituenten in het benzeenmolecuul vond. Dit was een technisch moeilijk onderzoek. Met zijn leerlingen Teunis van der Linden en Josué Jean Philippe Valeton (1883-1953; later hoogleraar mineralogie in Breslau en in Würzburg) ontwikkelde Holleman 'een methode ter quantitatieve analyse van ternaire mengsels', welke door hem op 26 februari 1910 aan de Academie van Wetenschappen werd aangeboden.[16] Op voorstel van Van der Linden werd de fasenleer toegepast op de bepaling van de samenstelling van isomere mengsels, dat wil zeggen dat het smeltgedrag met en zonder toevoeging van zuivere componenten werd waargenomen. Van der Linden (1888-1965), die van 1937-1954 secretaris van de Nederlandse Chemische Vereniging zou zijn, promoveerde bij Holleman op 8 juni 1910 op een *Quantitatief onderzoek over de halogeneering der mono-halogeenbenzolen.*[17]

In 1910 kon Holleman de resultaten van zijn jarenlange onderzoekingen samenvatten in het boek *Die direkte Einführung von Substituenten in den Benzolkern. Ein Beitrag zur Lösung des Substitutionsproblems in aromatischen Verbindungen. Kritische Literaturübersicht und experimentelle Untersuchungen*, dat in 1913 werd aangevuld met 'Onderzoekingen over de directe invoering van substituenten in de benzolkern, gedurende de jaren 1910, 1911 en 1912'[18] en in 1923 met 'Recent in-

vestigations on substitution in the benzene nucleus'.[19] Het voornaamste resultaat was de regel van behoud van substitutietype. 'Die vorhandene Gruppe dirigiert [...] ein neu eintretender Substituent unabhängig von seiner Natur, entweder hauptsächlich nach den para-ortho-Stellen oder nach der Metastelle'.[20] De verhouding van de hoeveelheden van de isomeren in ieder type kan echter zeer sterk variëren. De twee typen zijn grensgevallen. Bij een para-ortho-substitutie onstaat altijd wat metaproduct en ook zuivere metasubstitutie komt praktisch niet voor.

Bij zijn onderzoekingen ging Holleman niet uit van een bepaalde theorie. Zijn eerste doel was om zoveel mogelijk experimentele gegevens met de grootst mogelijke nauwkeurigheid te verzamelen om er later bepaalde regelmatigheden uit af te leiden. De resultaten van zijn onderzoekingen zouden belangrijk materiaal vormen voor een nieuwe theorie van de valentie die voornamelijk door Engelse en Amerikaanse - geen Nederlandse - onderzoekers zou worden opgesteld. In zijn afscheidscollege op 26 september 1924 zag Holleman 'met grote dankbaarheid en voldoening [...] terug op de 31 jaren van mijn professoraat'. Bij het overzien van wat de laatste vijftig jaar op chemisch gebied was voorgevallen 'zou het mij niet passen om over de bescheiden bijdragen, die ik vermocht te geven aan de organische chemie, uit te weiden. Wel wil ik zeggen, dat zoo het mij mocht gelukt zijn, iets blijvends tot stand te brengen, ik dat voor een groot deel aan mijne meerendeels uitstekende assistenten te danken heb'.[21] Na zijn emeritaat hield Holleman zich niet meer bezig met wetenschappelijk onderzoek. Wel was hij tot zijn tachtigste jaar actief in tal van wetenschappelijke commissies.

Een van Hollemans leerlingen was Johan Pieter Wibaut (1886-1967) die, als zoon van de vermaarde wethouder, in Amsterdam had gestudeerd en daar op 13 november 1912 bij Holleman was gepromoveerd op een *Quantitatief onderzoek over de nitratie van ortho- en metachloortoluol*, waarin hij de verhouding van de substitutiesnelheden bij de nitratie van chloortoluenen bepaalde.[22] Na scheikundige aan de gemeentelijke gasfabrieken te Amsterdam (1912-1918) en adviserend scheikundige aan de Amsterdamsche Superfosfaatfabriek (1918-1920) te zijn geweest, werd Wibaut lector in de organische chemie. Als directeur van de propedeutische afdeling van het organisch-chemisch laboratorium van de Universiteit van Amsterdam volgde hij in 1925 Holleman als hoogleraar organische chemie op. Op 15 juni 1925 hield hij zijn oratie over 'de verhouding tusschen theorie en experiment in de organische scheikunde'. Tot zijn emeritaat in 1956 vervulde Wibaut het Amsterdamse hoogleraarschap.

Vanaf de jaren twintig hield Wibaut zich met een viertal onderzoeksonderwerpen bezig. Als gevolg van zijn werk bij de gasfabrieken onderzocht hij de samenstelling van amorfe kool en de additie van halogeenwaterstof aan onverzadigde verbindingen om zo de in de gasfabrieken geproduceerde etheen in waardevoller producten om te zetten. Verder werden onderzoekingen verricht over de isomeren van nicotine. In 1926 wist hij nicotine-isomeren te synthetiseren; in 1944 het isopelletierine. Na de aanvaarding van het hoogleraarsambt zette hij het werk van Holleman, de substitutie in de benzeenkern, voort en begon hij aan het veel moeilijker probleem van de substitutie in de pyridinekern. In zijn afscheidscollege op 22 september 1956, over 'de vooruitgang van de organische chemie in de laatste 30 jaar'[23], noemde Wibaut onder

het werk dat op zijn laboratorium was verricht, het vinden van betere methoden voor de substitutie in pyridine 'dat zich zo weerbarstig toonde tegenover de elektrofiele substitutie reacties'. Dit leidde tot de succesvolle bromering bij hoge temperatuur (300-500 °C) in de gasfase (1932). 'Het resultaat is geweest, dat een nieuw hoofdstuk der pyridine-chemie werd geopend'. Het onderzoek werd uitgevoerd met Hermanus Johannes den Hertog (1902-1994), de latere hoogleraar organische chemie aan de Landbouwhogeschool te Wageningen, die van Wibaut als promotieonderwerp de halogenering van pyridine kreeg. 'U weet dat de invoering van substituenten in de pyridinekern moeilijker gaat dan in benzeen. Misschien zit er iets in als we het in de gasfase proberen', werd hem door zijn toekomstige promotor gezegd.[24] Op 14 oktober 1931 promoveerde Den Hertog op het proefschrift *De bromeering van pyridine*. Met zijn leerlingen vond Wibaut de omkering van het substitutietype bij de bromering bij hoge temperaturen in de gasfase. Een van hen was de jong gestorven hoogleraar Frederik Leonardus Johannes Sixma (1923-1963), die op 7 juli 1948 bij hem promoveerde op *De substitutie in aromatische verbindingen; de invloed van temperatuur en katalysatoren*.

Net als Holleman vormde Wibaut een school van organici, vooral met Den Hertog en Sixma. Het werk dat door een honderdtal promovendi werd verricht heeft in belangrijke mate bijgedragen tot de ontwikkeling van die gebieden van de organische chemie waarop Wibaut zich heeft bewogen. Daarnaast bewerkte hij het *Leerboek der organische chemie* van Holleman, waarvan de elfde druk nog met Holleman werd verzorgd (1929), vanaf de twaalfde druk (1932) door Wibaut alleen en vanaf de zeventiende druk (1955) met zijn echtgenote, de op 29 oktober 1930 op *Het sulfoneeren van pyridine onder kataltischen invloed van kwiksulfaat* bij hem gepromoveerde Antoinette Johanna Pauline van Gastel (1898-1977).

Een leerling van de vroeggestorven Lobry de Bruyn, Jan Johannes Blanksma (1875-1950), die op 13 december 1900 bij hem gepromoveerd was op een *Bijdrage tot de kennis der organische zwavelverbindingen*, was van 1914 tot 1946 hoogleraar organische chemie te Leiden, waar hij Franchimont was opgevolgd.[25] Blanksma was in de eerste plaats onderwijsman en wilde zich daarom - in tegenstelling tot veel van zijn collega's - niet aan de industrie binden om het gevaar te voorkomen dat zijn belangstelling zich dan meer op de industrie dan op het onderwijs zou richten. Voor Blanksma was de theorie niet meer dan een hulpmiddel. Men moest zich bewust zijn dat een theorie slechts tijdelijk is en dat in de wetenschap alleen het feit blijvend is. Het laatste stond voor hem dan ook primair. Zijn sterke historische belangstelling steunde hem in deze opvatting.

Blanksma en zijn leerlingen hielden zich vooral bezig met onderzoek naar de snelheid van organisch-chemische reacties. Talrijke nitroverbindingen werden bereid en hun zoete smaak leidde tot een studie over het verband tussen de structuur van dechemische verbinding en zijn smaak. Vele nieuwe, min of meer zoetsmakende stoffen werden hierbij gevonden. Met zijn promovendus Petrus Wilhelmus Maria van der Weijden werd een zoete stof ontdekt, die drieduizend maal zo zoet was als rietsuiker: het 1-n-propoxy-2-amino-4-nitrobenzeen (1939).[26]

Blanksma's wetenschappelijk werk is vrij onbetekend geweest. Zijn wetenschappelijke 'kroonprins' Jan van Alphen (1900-1969), die al op 28-jarige leeftijd lector

werd, verliet in 1946 de Leidse universiteit en ging naar Elsevier Publishing Company. Mede onder invloed van de invloedrijke Kögl volgde diens leerling Egbertus Havinga (1909-1988) in Leiden Blanksma op.

De delftse school (1920-1924) van Jacob Böeseken (1868-1949)

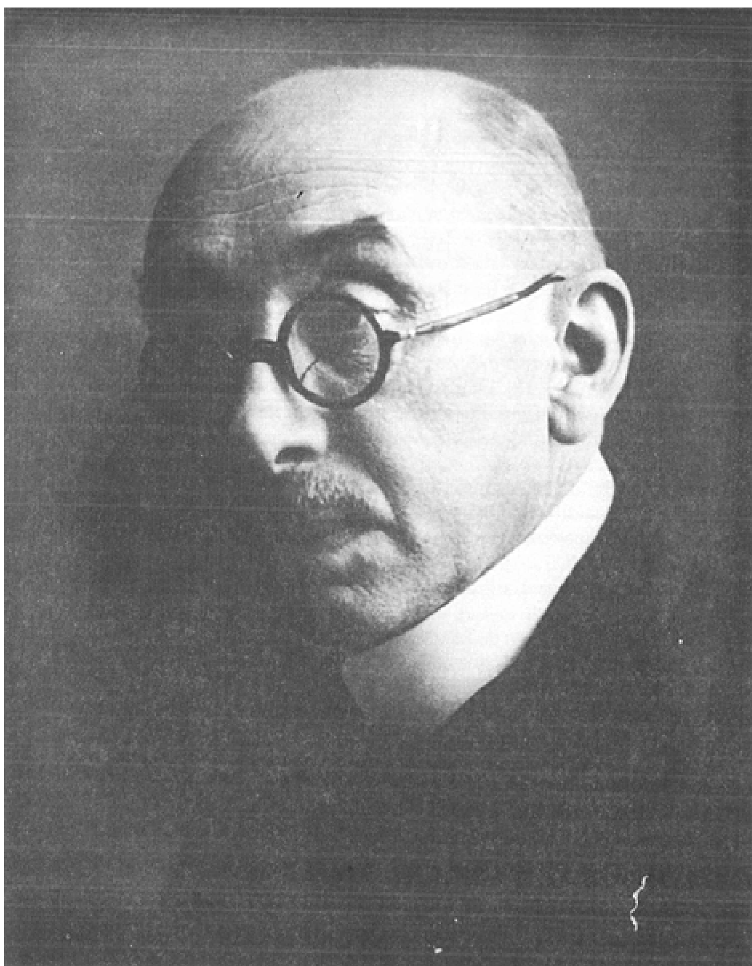
Een geheel ander onderzoeksprogramma dan Holleman voerde Jacob Böeseken (1868-1949) in Delft uit. Böeseken was in het najaar van 1893 als assistent aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen benoemd, waar Holleman directeur was.[27] Toen deze in oktober 1893 tot hoogleraar aan de universiteit van Groningen werd benoemd, werd Böeseken een paar maanden later zijn assistent (1894).

Böeseken had scheikundige technologie aan de Polytechnische School in Delft gestudeerd (1887-1893). Omdat het voor een scheikundig ingenieur toen niet mogelijk was aan een Nederlandse universiteit de doctorsgraad te behalen, promoveerde hij op 11 mei 1897 aan de universiteit van Basel op een proefschrift *Über die Einwirkungs-producte der primären Amine auf die Dinitrosacyle*. In 1898 werd Böeseken leraar aan de hogereburgerschool en het gymnasium te Assen. In 1906 werd hij lector in de propedeutische scheikunde te Groningen, maar reeds het jaar erop volgde zijn benoeming tot gewoon hoogleraar in de organische scheikunde en de toepassingen ervan aan de Technische Hogeschool te Delft. Op 16 oktober 1907 hield hij zijn inaugurele rede *Wisselwerkingen tusschen wetenschappelijk onderzoek en de organisch-chemische techniek*. Tot zijn emeritaat in 1938 doceerde hij organische chemie, waarbij ook veel aandacht werd geschonken aan biochemische vraagstukken. Böeseken zag scherp in dat de aanstaande organisch-chemicus de methoden van de fysische chemie nodig heefgt om tot een verdieping te komen van het inzicht in de bouw en het gedrag van organische moleculen.

Omstreeks 1907 nam de afdeling scheikundige technologie op de Technische Hogeschool een bescheiden positie in, maar door de dominerende figuur van Sebastiaan Hoogewerff (1847-1934) had de organische chemie een zeer belangrijke plaats op het programma gekregen. Veel van Böesekens leerlingen vervulden posities in de industrie, waardoor Böesekens belangstelling ook gericht werd op onderwerpen met een niet uitsluitend zuiver wetenschappelijk karakter.

Böesekens wetenschappelijk werk lag vooral op het gebied van de configuratie van organische verbindingen met behulp van de boorzuurcomplexen van polyhydroxyverbindingen (meerwaardige alcoholen) en van cyclische ketalen tot diolen en aceton.

Nadat de Italiaanse chemicus Gaetano Magnanini gevonden had dat het geleidingsvermogen van tal van polyhydroxyverbindingen door toevoeging van boorzuur sterk toenam (1890), had Van 't Hoff opgemerkt dat dit alleen mogelijk is als er een mogelijkheid bestaat voor de vorming van een vijfring.[28] Hij veronderstelde dat vicinale diolen met boorzuur reageren onder vorming van cyclische verbindingen, die sterker zuur zijn dan het boorzuur zelf. De grondslag voor de voorstellingen over de bouw van verzadigde koolstofringen was steeds gebaseerd op de opvatting van Van 't



XIX. Jacob Böeseken (1868-1949), lector in Groningen (1906-1908) en hoogleraar organische chemie in Delft (1907-1938). Deed met zijn leerlingen belangrijke onderzoekingen naar de configuratie van organische verbindingen met behulp van de boorzuurcomplexen van polyhydroxyverbindingen.

Hoff over de regelmatige tetraëder: de vier valenties van het koolstofatoom werken in de richtingen die het middelpunt met de hoekpunten van de tetraëder verbinden en die met elkaar een hoek van 109°28' maken. In 1885 had Adolf von Baeyer met zijn spanningstheorie een bevredigende verklaring gegeven van de bouw van verzadigde koolstofringen $(CH_2)x$, waarvoor hij overigens alleen 'vlakke' structuren aannam. De afwijking van Van 't Hoffs hoek van 109°28' geeft spanning in het molecuul en veroorzaakt daardoor instabiliteit. Een koolstofvijfring is bevoorrecht omdat deze een minimum aan ringspanning bezit (de afwijking bedraagt slechts 0°44'). Dat ook de koolstofzesring gemakkelijk ontstaat en zeer stabiel is, werd niet als in strijd met de spanningstheorie beschouwd. Ze is namelijk gering (- 5°16'). Over hogere koolstofringen was te weinig bekend om conclusies te kunnen trekken over eventueel toenemende ringspanningen. Von Baeyer zelf meende dat het bestaan ervan, wegens de negatieve afwijking van de koolstof-koolstofbindingen, onwaarschijnlijk was, maar spoedig bleek dat niet het geval te zijn.

Vijf jaar later wees Hermann Sachse, assistent op het organisch-chemisch laboratorium van de Technische Hochschule in Berlijn, op de mogelijkheid van een ruimtelijke spanningsloze configuratie van de verzadigde koolstofzesring. Voor de drievier- en vijfringen had hij dezelfde opvattingen als Von Baeyer, maar voor de zesring niet. Nam Von Baeyer een vlakke structuur aan met een spanning in de ring, Sachse veronderstelde een niet-vlakke structuur zonder spanning (1890). Voor cyclohexaan bestaan twee ruimtelijke spanningsvrije structuren: een starre symmetrische en een beweeglijke asymmetrische configuratie (de stoel- en de bootvorm), die in elkaar kunnen overgaan. Maar de theorie van Sachse kreeg weinig belangstelling omdat de beide isomeren niet waren te isoleren. Een uitwerking van de theorie van Sachse gaf de hoogleraar scheikunde aan de universiteit van Heidelberg, Ernst Mohr in 1915. Hij nam aan dat de stoel- en de bootvorm - vanwege de zeer geringe overgangsenergie - niet zijn te isoleren. Mohr voorspelde het bestaan van twee spanningsvrije isomeren van decaline, cis en trans. Het lukte Böeseken in 1918 cyclohexaan-1,2-diol te isoleren, waarna in 1923 Walter Hückel het cis- en het trans-decaline zelf wist te verkrijgen.

In Delft deden Böeseken en zijn leerlingen systematisch onderzoekingen over de verzadigde vijf- en zeskoolstofring, waar tussen een groot verschil bleek te bestaan. Op 26 mei 1917 hield Böeseken in de Academie van Wetenschappen een voordracht over 'de beteekenis van complexe boorzuurverbindingen voor de bepaling van de configuratie van organische verbindingen'. Vanaf 1911 had hij het geleidingsvermogen van boorzuur als methode voor de configuratiebepaling van polyhydroxyverbindingen gebruikt. 'De aanleiding tot de boorzuuronderzoekingen, die in het Delftsche laboratorium sedert 1911 zijn uitgevoerd, was het probleem over de ligging van de C-atomen van den benzolring in de ruimte. Telkens dook nml. de meening op, dat de C-atomen niet in één vlak zouden gelegen zijn, maar in de hoekpunten van een regelmatigen octaëder'.[29] In juli 1913 publiceerde hij een artikel 'Über die Lagerung der Hydroxyl-Gruppen von Polyoxy-Verbindungen im Raum. Die Konfiguration der gesättigten Glykole und der α- und β-Glykose'.[30] Böeseken stelde vast dat twee hydroxylgroepen aan naast elkaar liggende koolstofatomen alleen niet voldoende zijn de geleidbaarheid te verhogen. Nodig is dat 'die Hydroxylgruppen an derselben Seite und in derselben Ebene an zwei benachbarte Kohlenstoffatome gebunden sind'.[31]

Glycol verhoogt de geleidbaarheid van een boorzuuroplossing niet, glycerol wel. De oorzaak ligt in het feit dat gelijknamige atomen of atoomgroepen zich ‘van nature’ afstoten. De hydroxylgroepen in glycol zijn zo ver mogelijk van elkaar verwijderd, waardoor complexvorming niet plaats kan vinden. In alcoholen met meer dan twee hydroxylgroepen, zoals glycerol, vindt weliswaar eenzelfde afstoting plaats, maar niet zo ongunstig voor complexvorming als bij glycol. Het uitblijven van complexvorming met boorzuur voerde hij terug op een ongustige trans-oriëntering van de hydroxylgroepen in het molecuul. Vorming van het boorzuucomplex wees op de gunstige cis-plaatsing waarbij een vijf- (of zes)ring wordt gevormd. Zo vond hij dat in α-glucose de hydroxylgroepen van 1 en 2 op de cis-plaats staan. Op 22 februari 1921 promoveerde bij Böeseken Hendricus Couvert op het proefschrift *De configuratie van eenige suikers*, waarin de cyclische structuur van suikers bevestigd werd met de boorzuurmethode en de configuratie van de beide stereo-isomere vormen bij een suiker kon worden vastgesteld.

Böeseken wilde zijn boorzuurmethode toepassen op enige cyclische cis-trans-vicinale diolen. Gekozen werd voor de cyclopentaandiolen, waarbij verwacht werd dat boorzuur zich met het cis-diol verbindt tot een complexe verbinding met een sterk zuur karakter en daardoor een hoog geleidingsvermogen. In de transvorm liggen de hydroxylgroepen ongustig voor de vorming van zo'n boorzuurcomplex en op deze wijze zijn de beide isomeren te onderscheiden. Böeseken gebruikte de hypothese van Van 't Hoff over ringvormige verbindingen met boorzuur en was ervan overtuigd dat dergelijke ringderivaten alleen gevormd worden als twee naburige hydroxylgroepen van natuur ‘gunstig’ ten opzichte van elkaar zijn geörienteerd (dat wil zeggen parallel gericht en met het koolstofatoom in één vlak staan). Hierin zou dan een zeker hulpmiddel voor configuratie-onderzoek zijn gelegen.

Christiaan van Loon paste de methode van Böeseken toe op de configuratiebepaling van de cis-trans-isomere cyclische-1,2-diolen aan de hand van een onderzoek van de isomere cyclopentaan-1,2-diolen en de isomere hydrindaan-1,2-diolen. Hij vond dat alleen de cis-isomeren een sterke verhoging van het geleidingsvermogen veroorzaakten, terwij bij de trans-isomeren geen verhoging werd waargenomen. Hij maakte daarbij ook gebruik van acetaalvorming met aceton. Het cis-cyclopentaan-1,2-diol en het cis-hydrindaan-1,2-diol gaven de verwachte condensatieproducten met aceton, de trans-isomeren niet. Op 4 juli 1919 promoveerde Van Loon op het proefschrift *Stereochemie der cyclopentaan- en der hydrindeen-1,2-diolen*. Maar in december 1919 vond Böesekens leerling J. van Giffen dat de beide cyclohexaan-1,2-diolen geen merkbare verhoging van het geleidingsvermogen met boorzuur gaven. Wel vormde het cis-isomeer, in tegenstelling tot het trans-isomeer, met aceton het ketaal. Blijkbaar is er hier geen vlak ringsysteem. Böeseken meende dat ‘évidemment, l'anneau à six carbones possèdes une certaine souplesse, qui permet aux hydroxyles de s'é loigner l'un de l'autre plus que l'on aurait cru possible’.[32] Het bleef echter bij dit vermoeden. In zijn dissertatie *Bijdrage tot de kennis van den ruimtelijken bouw van atoomringsystemen* (10 mei 1922) probeerde Henri George Derx (1894-1953) dit vermoeden van Böeseken te bevestigen.[33]. Hij herhaalde en bevestigde de waarnemingen van Van Giffen en vond dat in de reeks van de cyclische 1,2-diolen bij tetrahydronaftaleen-1,2-diol en -2,3-diol alleen de cis-diolen met aceton condensatieproducten (ketalen) vormden, terwijl geen van de isomeren een meetbare verhoging van

het geleidingsvermogen van boorzuur veroorzaakte. Maar bij de cycloheptaan-1,2-diolen stelde Derx vast dat beide isomeren zowel het geleidingsvermogen van boorzuur verhoogden (zij het bij het cis-isomeer in wat hogere mate dan bij het trans-isomeer), als met aceton een ketaal vormden. De oorzaak van het merkwaardige gedrag van cyclohexaan-1,2-diol ten opzichte van boorzuur werd in de bouw van de zesring gezocht. Derx kende de oude en vergeten publikatie van Sachse uit 1890 en construeerde een ruimtelijk zesringmodel, opgebouwd uit koolstoftetraëders volgens Van 't Hoff en geheel in overeenstemming met de theorie van Sachae. Het gedrag van de beide cycloheptaan-1,2-diolen werd met een ruimtelijk zevenringmodel verklaard. Bevestiging van de theorie gaf een onderzoek van tetrahydronaftaleen-1,2-diol en -2,3-diol. Derx had door een instrumentmaker uit houten tetraëders en messingstaafjes modellen laten bouwen om de opvattingen van Sachse aanschouwelijk te maken. De modellen brachten de ‘draaibaarheid’ om de koolstof-koolstofbinding duidelijk tot uiting en lieten er geen twijfel aan bestaan dat in het cyclohexaan-1,2-diol de hydroxylgroepen zich in een voor de reactie ongustige positie bevinden, indien ze zich in de ‘starre’ stoelvorm en in een gunstige positie, als ze zich in de ‘flexibele’ bootvorm bevinden. Derx noemde beide ringvormen respectievelijk ‘position de lit’ en ‘position de chaise’.

Onafhankelijk van Mohr kwamen in 1921 Böeseken, Van Giffen en Derx dus langs experimentele weg tot een ruimtelijke structuur van de zesring, die een verklaring gaf van het gedrag van cis-cyclohexaan-1,2-diol ten opzichte van het geleidingsvermogen van boorzuur. Sindsdien stond het onderzoek van spanningsvrije ringen met meer dan vijf koolstofatomen centraal in de onderzoekingen van Böeseken en zijn leerlingen. Onder hen was Petrus Hendrik Hermans (1898-1979), die later grote bekendheid kreeg door zijn werk op het gebied van de synthetische vezels. Hermans gaf in zijn dissertatie *Onderzoek naar de ruimtelike konfiguratie van enkele glykolen. Een kritiese beschouwing over de betekenis der boorzuur- en acetonverbindingen voor de stereochemie* (19 maart 1924) hiervoor een kritische thermodynamische beschouwing, waaruit de invloed van zijn andere leermeester, de fysisch-chemicus F.E.C. Scheffer duidelijk blijkt.[34] Uitvoerig mat Hermans de reactiesnelheid en de evenwichtsconstanten van de reactie van diolen met aceton.[35] Hij nam daarbij waar dat hoewel stoffen als ethyleenglycol en trans-cyclohexaan-1,2-diol geen meetbaar effect vertoonden op de geleidbaarheid van boorzuuroplossingen, ze toch met aceton reageerden. Hij breidde het onderzoek uit naar de reactie van een acyclische verbinding, hydrobenzoine [1,2-difenylethaan-1,2-diol] met aceton. De gevonden verschillen in reactiesnelheid en evenwichtsconstanten verklaarde hij door aan te nemen dat de configuraties met een minimale potentiële energie die zijn waar de fenylgroepen op maximale afstand van elkaar staan.

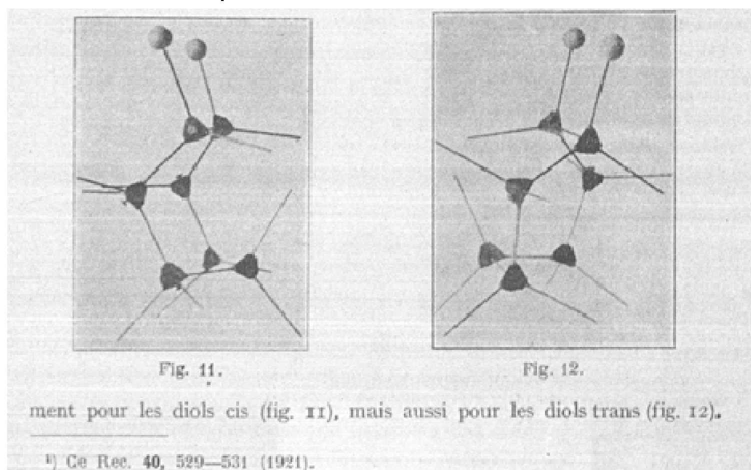
Hermans had grote belangstelling voor kwantitatieve berekeningen die hem informatie konden verschaffen over de relatieve stabiliteit van de cyclohexaanvormen. ‘Bij de opzet ervan mocht ik de hulp ontvangen van prof. F.E.C. Scheffer en bij het zeer omvangrijke cijferwerk, de krachtige en onmisbare steun van de heer J. Berk,

le plus bas la configuration cis: au diol fondant à 63° la configuration trans. Car tous les diols examinés par (M. VAN LOON), et par moi, qui furent préparés par oxydation par le permanganate de potassium, c. à d. le cis-cyclopentanediol (M. VAN LOON), le cis-cyclohexanediol (MARKOWNIKOW), le cis-1.2. tétrahydronaphalènediol et le cis-2.3.tétrahydonaphtalènediol par moi, avaient le point de fusion plus bas que leur stéréo-isomère et de tous les diols nommés la méthode à l'acétone a prouvé leur configuration cis, sans aucun doute.

Comme M. BÖESEKEN et moi nous l'avons déjà indiqué dans une communication préliminaire[1)], chacun des deux diols cycloheptaniques forment un composé acétonique différent, qui par l'action d'ean acidulée donne naissance au diol dont on est parti.

Voila donc la première fois que la méthode à l'acétone nous laisse dans l'embarras. Evidemment, dans le cas de l'anneau cycloheptanique simple, la méthode à l'acétone ne peut pas, *par la formation seule* d'un composé acétonique, servir ni pour la distinction, ni pour la séparation de diols isomères cis et trans.

Ce fait est bien remarquable, d'autant plus, que la formation d'un composé acétonique de l'ortho-cycloheptanediol trans est fout à fait d'accord avec le modèle de Kékulé de l'atome de carbone, dont nous nous sommes servis dans cette publication. Ce modèle nous montre que, à commencer par l'anneau à sept atomes, la rotation, les mouvements dans l'espace des atomes de l'anneau, est si peu gêné par leur liaison dans un anneau, que sans que les angles entre les directions s'àcartent à aucun moment de leur valeur normale de 109°28, les deux groupements hydroxyle *peuvent* se trouver dans un plan, ou du moins à peu; près, avec les atomes de carbone auxquels ils sont liés, naturelle


Fig. 11.   Fig. 12.

ment pour les diols cis (fig. 11), mais aussi pour les diols trans (fig. 12).

1) Ce Rec. 40, 529—531 (1921).

XX. Ruimtelijke modellen van cis- en transdiolen door Henri George Derx (1894-1953) in zijn Delftse dissertatie Bijdrage tot de kennis van den ruimtelijken bouw van atoomringsystemen (1922; blz. 17) beschreven.

ment pour les diols cis (fig. 11), mais aussi pour les diols trans (fig. 12).

1) Ce Rec. 40, 529-531 (1921).

kand. scheik. ing., waarvoor ik ook op deze plaats mijn hartelike dank uitspreek'.[36] Hermans deed berekeningen over de inwendige potentiële energie van een reeks uitgekozen configuraties van het cyclohexaandiolmodel volgens Derx. In alle gevallen bleek een configuratie met ongunstig georiënteerde hydroxylgroepen de geringste potentiële energie te bezitten. Uit de berekeningen kon hij concluderen dat de stoelvorm stabieler is dan de bootvorm. Hermans kwam hierbij tot de aanname van een sterische hindering, van een niet-vrije draaibaarheid om de koolstof-koolstofas.

Later, in 1938, voerde Hermans de berekeningen nogmaals uit voor de cycloheptaanring, nu met behulp van de toen recent in de handel te verkrijgen, door Herbert Stuart van het Physikalisches Institut in Koningsbergen geconstrueerde ruimtevullende molecuulmodellen, waaraan de atoombindingsstralen van Linus Pauling ten grondslag lagen en waarmee de ruimtelijke verhoudingen in moleculen benaderd konden worden weergegeven.[37]

Bij zijn eerdere onderzoekingen had Hermans gevonden dat 1:1-complexen van diolen en verwante verbindingen met boorzuur even zwak zuur zijn als boorzuur zelf. De veronderstelling van Van 't Hoff dat de boorzuurcomplexen de oorzaak zijn van de toename van de geleidbaarheid van de oplossingen, is dus niet juist. Hermans veronderstelde dat de oorzaak van de toename van de geleidbaarheid gezocht moest worden in complexen die uit twee moleculen diol en een molecuul boorzuur zijn opgebouwd en die een spiraanstructuur bezitten.[38] Goed gekozen derivaten zouden daardoor in optische antipoden splitsbaar moeten zijn. Deze veronderstelling werd experimenteel bevestigd door Jacob Meulenhoff in zijn proefschrift *Bijdrage tot de kennis van organische boriumverbindingen*, waarop hij op 21 mei 1924 bij Böeseken promoveerde.[39]

In april 1922 schreef Böeseken op verzoek van de redactie van het *Chemisch Weekblad* een verhandeling over 'de beteekenis van het boorzuur en van het aceton voor de kennis van de configuratie van een aantal organische verbindingen en van den bewegingstoestand der molekulen in de ruimte'.[40] Hij kwam tot de conclusie dat we in zijn onderzoekingen een bevestiging van de fundamentele wetten van Van 't Hoff vinden en dat 'vijfringen, zoowel verzadigde als onverzadigde niet zeer bewegelijke vlakke systemen zijn', terwijl de 'verzadigde zes- en zevenringen spanningslooze gebogen oppervlakken zijn, die zich in golvende, pulseerende bewegingen door de ruimte spoeden. Hierbij is evenals bij de bewegingen om de enkelvoudige bindingen één der standen de meest bevoorrechte; voor enkele diolen konden gegevens over dien stand worden verzameld'.[41] Tenslotte zijn de koolstofatomen van de benzeenring met de daaraan gebonden groepen zeer weinig beweeglijk en meestal in hetzelfde platte vlak gelegen.

Door het werk van de Delftse school en zijn leerlingen werden de eerste experimentele bewijzen voor de ruimtelijke structuur van de hogere koolstofringen gegeven. Hun onderzoekingen over de configuratie van de cyclohexaanring werden door Walter Hückel uitvoerig besproken in zijn *Der gegenwärtige Stand der Spannungstheorie* (1927), maar snel vergeten. Met de onderzoekingen van de Delftse school van Böeseken over de niet-vlakke structuur van koolstofringen met meer dan vijf koolstofatomen werd een belangrijke, zij het veronachtzaamde bijdrage geleverd tot de ontwikkeling van de conformatie-analyse.[42] Pas in 1973 zag de Amerikaanse chemiehistoricus O. Bertrand Ramsay er de grondslag van de conformatie-analyse in

doordat het bestaan van een rotatiebarrière werd bewezen en op exact thermodynamische basis kwantitatief werd gemeten.[43] Het zou Egbert Havinga zijn, een leerling van Kögl, die als hoogleraar organische chemie in Leiden (1946-1979) een internationale school van conformatie-analyse zou vormen.[44]

Hermans zelf was zich al vroeg bewust van het belang van de ‘conformatie-analyse’ voor het begrijpen van chemische en biochemische reacties. In 1924 schreef hij: ‘Vielleicht wird einmal (voraussichtlich erst in weiter Zukunft) eine genauere Kenntnis dieser feineren Konfigurationsunterschiede von Wichtigkeit sein für das Verständnis gewisser biochemischer Erscheinungen. Im fein abgestimmten Chemismus der lebenden Substanz werden ohne Zweifel die Einflüsse von konfigurativen Unterschieden der hier betrachteten Art eine wichtige Rolle spielen können’.[45] Op het eind van zijn leven kwam Hermans terug op de lotgevallen van de Delftse school. Naar aanleiding van een verzoek ‘van de zijde van een Amerikaanse, in de historie van de stereochemie gespecialiseerde en geinteresseerde wetenschappelijke instantie (hoogleraar)’ om inlichtingen over de molecuulmodellen van Derx, zond Hermans op 30 januari 1973 een lange brief aan de Historische Commissie van de KNCV.[46] Hij merkte daarin op dat bij de aanstaande herdenking in 1974 van de publicatie van Van 't Hoffs stereochemie ook de ‘zéér positief baanbrekende prestatie’ die ‘door een twee of drietal jonge *Nederlandse* chemici, die in het begin der 20-ger jaren direkt op elkaar volgend aan hun promotie werkten aan de T.H. te Delft’, gememoreerd dienden te worden. Zij hebben de tweede (na Van 't Hoff) Nederlandse bijdrage tot de stereochemie geleverd, die ‘vrijwel onopgemerkt en in alle geval in het algemeen onbekend gebleven is’. Uitvoerig schetste Hermans de bijdragen van de Delftse school tot de conformatie-analyse, waaraan ondanks publicatie ervan in buitenlandse chemische tijdschriften geen aandacht was geschonken. Erger nog, ‘een der genoemde buitenlandse werkers, met name de Zwitserse (die ook nog een blauwe maandag in Nederland hoogleeraar geweest is) [vond] vier jaar na de afsluitende Nederlandse publicatie, en wel in 1928, in een van zijn belangrijkste verhandelingen, het in een voetnoot toepasselijk te achten aan het Nederlandse werk “iedere waarde” te ontzeggen’. Bedoeld is L.S. Ruzicka, die het werk van Böeseken en diens promovendi voor zijn onderzoek over de stabiliteit en bereiding van grote ringen niet van betekenis vond.[47]

Hermans stelde nadrukkelijk ‘dat de gehele “actie” die ik (van “buiten af” daartoe genoopt) ben gaan voeren, primair gevoed is door het gevoel van een ere-plicht ten opzichte van een hooggewaardeerde collega en dierbare (reeds lang overlenden) persoonlijke vriend, die m.i. een sleutelrol gespeeld heeft in het werk van de “Delftse school”, doch daarvoor nog nimmer op adequate wijze nationaal noch internationaal gecrediteerd werd’, namelijk Derx, die in 1953 als adviseur en leider van een nieuwe afdeling microbiologie bij het Koninklijk/Shell Laboratorium in Amsterdam op 59-jarige leeftijd was overleden. Hermans lichtte Ramsay niet alleen uitvoerig in over de molecuulmodellen van Derx, maar ook over de rol die ze gespeeld hadden in het onderzoek van de Delftse school. Via Ramsay kwam Hermans in contact met verschillende buitenlandse chemici, die zich met de conformatie-analyse bezighielden. Het moet de 74-jarige Hermans goed gedaan hebben, dat de Engelse chemicus Derek Harold Richard Barton, die in 1969 gezamelijk met de Noorse fysisch-chemicus Odd Hassel de Nobelprijs scheikunde gekregen had ‘voor hun bijdragen tot de ontwikkeling van het begrip conformatie en zijn toepassing in de scheikunde’, hem op 17 april

1972 schreef: ‘The question of why the work of this school [namelijk de Delftse school] was not well appreciated is an interesting one. I think for myself, that a theoretical treatment only becomes well accepted if there is a real need for a large body of chemists to use it. Thus my own paper in *Experientia* (1950) was in an obscure journal (for organic chemists) and yet it acted as a crystallization nucleus because steroid chemists had a great need of its generalizations. Cortisone chemistry was just beginning seriously in 1950 and there were thousands of chemists working on steroids’.[48]

Op 14 februari 1936 gaf Böeseken voor de Chemische Kring te Amsterdam een overzicht van zijn onderzoekingen[49]. Omdat door de door hem en zijn leerlingen gebruikte chemische methoden (onderzoek met boorzuur en aceton) mogelijk de ligging van de groepen in het onderzochte ringsysteem kan worden gewijzigd, wilde hij zijn chemisch onderzoek aanvullen met een fysisch. Daartoe had hij gekozen voor de bepaling van dipoolmomenten, waarop op 5 juni 1935 Percy Cohen Henriquez bij hem was gepromoveerd.[50]

Böeseken schreef in zijn overzicht uit 1922 ook dat door zijn onderzoekingen was gebleken ‘dat de C-atomen van den benzolring met de daaraan gebonden groepen zeer weinig bewegelijk zijn en meestentijds in hetzelfde platte vlak zijn gelegen’. Over de structuur van het benzeen waren de chemici het in de twintiger jaren onderling nog verre van eens. Zo vroeg Antoine Eugène Lacomblé, die in Leiden bij Schreinemakers een promotie voorbereidde, zich in 1918 af of de structuur van benzeen niet te verklaren zou zijn met de theorie van Werner. Volgens die theorie zouden in het meest waarschijnlijke model van benzeen de koolstofatomen zich op de hoekpunten van een octaëder bevinden, maar Lacomblé zag in dat daarmee geen rekenschap werd gegeven van de eigenschappen van het benzeen.[51]

In de zesde druk van zijn *Leerboek der organische chemie* (1915) schreef Holleman: ‘Daarentegen is het, niettegenstaande de zeer moeitevolle onderzoekingen van de kundigste chemici, toch nog niet gelukt, van den inwendigen bouw van het benzol eene duidelijke voorstelling te verkrijgen; samenhangende met de vraag, hoe de vierde bindingseenheid der zes C-atomen gebonden moet worden gedacht’.[52] Ruim tien jaar later (1927) wijdde Holleman zes bladzijden aan het probleem van de structuur van het benzeen om weer te moeten concluderen dat ‘niettegenstaande de zeer moeitevolle onderzoekingen van de kundigste chemici [het] toch nog niet gelukt [is], van den inwendigen bouw van het benzeen eene duidelijke voorstelling te verkrijgen [...]’.[53] In de tussentijd had E.H. Büchner in april 1919 in het *Chemisch Weekblad* een artikel gepubliceerd over ‘het atoom van Bohr in de organische chemie’, waarin hij het Bohrse atoommodel toepaste op het methaanmolecuul en vervolgens op onverzadigde verbindingen, inclusief het benzeen. ‘Dit molecuul moet in een plat vlak liggen, aangezien men anders noodzakelijkerwijs veel gevallen van optische isomerie had moeten aantreffen’.[54] Een overzicht van de toepassing van de moderne quantummechanica op het benzeenprobleem werd in 1933 door ir. Guillaume Elsen in het *Chemisch Weekblad* behandeld.[55] Het was ook in deze tijd dat de aan de Polytechnische School in Delft opgeleide mijnbouwkundig ingenieur Cornelis Willem August Lely (1882-1936) zijn merkwaardige opvattingen over de structuur van het benzeen publiceerde.[56] Hij was wegens zijn gezondheid in 1919 teruggekeerd van het eiland

Billiton waar hij sinds 1908 in dienst van de Billiton Maatschappij werkzaam was. In het *Chemisch Weekblad* publiceerde hij twee artikelen over de vraag: 'Is de benzoltheorie van Kekulé houdbaar?'. Het eerste artikel was gedateerd oktober 1922, het tweede januari 1923.[57]. De beide artikelen leidden tot een heftige polemiek in het *Chemisch Weekblad* tussen 1922 en 1925.

Lely verwierp de oscillatietheorie van Kekulé als 'iets gezochts' en postuleerde zelf een 'driehoekformule' van het benzeen. De drie waterstofvrije koolstofatomen zijn onderling in een driehoek (de 'primaire' driehoek) gebonden gedacht. De andere drie koolstofatomen vormen de toppen van de 'secundaire' driehoeken. Ze dragen paarsgewijs de zes waterstofatomen, welke 'vrijelijk in dezelfde richting en synchroon roteeren' kunnen. De opvattingen van Lely werden direct heftig aangevallen door de Wageningse hoogleraar in organische, anorganische en fysische chemie S.C.J. Olivier, door H.J. Prins en de latere Rotterdamse scheikundeleraar H.A.J. Schoutissen. De veronderstelling van Lely in zijn tweede artikel van de synchrone rotaties werd direct afgewezen door Olivier en de in 1922 in Delft afgestudeerde scheikundig ingenieur Johannes Dirk van Roon (1894-1971), die op 17 juni 1929 bij Böeseken zou promoveren op een dissertatie *Over de vorming der cyclische acetalen van glycerine met acetaldehyd, formaldehyd en benzaldehyd*. Ook Prins en Schoutissen waren leerlingen van Böeseken: Hendrik Jacobus Prins (1889-1958) was op 23 oktober 1912 gepromoveerd op een *Bijdrage tot de kennis der katalyse. De katalytische werking van aluminiumhalogeniden* en werkzaam als chemicus bij Polak en Schwarz' Essencefabrieken in Hilversum; Hendrikus Antonius Josephus Schoutissen (1899-1947) zou op 19 maart 1926 promoveren op *Studies in de diazochemie. Tevens als bijdragen tot het substitutieprobleem in de benzolkern*.

Van Böesekens overig werk noemen we zijn onderzoekingen over katalytische werkingen, met name van het Friedel-Crafts type, die tot de zogenaamde dislocatietheorie (d.w.z. de wisselwerking tussen katalysator en de reagerende moleculen) leidde (1910).[58] Voorts zijn constitutiebepalingen van onverzadigde verbindingen als elaeostearinezuur (1925), die van betekenis waren voor de ontwikkeling van de studie van de vette oliën.

Pieter Eduard Verkade (1891-1979) en Jan Coops (1894-1969)

Onder de esenveertig promovendi van Böeseken bevinden zich de organici Verkade en Coops. Pieter Eduard Verkade (1891-1979) had van 1908-1913 scheikundige technologie in Delft gestudeerd en was op 5 maart 1915 gepromoveerd op een proefschrift over de *Hydratatie van organiese zuuranhydrieden*. Hij werd assistent voor de zogenoemde 'verzameling van handelswaren en van grondstoffen en producten der nijverheid' (1916), conservator en lector voor de warenkennis (1917) en vervolgens hoogleraar in de warenkennis, de chemie en de technologie der handelswaren aan de Nederlandsche Handels-Hoogeschool te Rotterdam (1919).[59] In 1938 volgde zijn benoeming tot hoogleraar in Delft als opvolger van Böeseken. Hij aanvaardde zijn ambt op 21 oktober 1938 met een oratie *Organische chemie en industrie*.

In 1912 liet Böeseken zijn leerling Verkade een onderzoek uitvoeren naar de hy-

dratatiesnelheden van organische zuuranhydriden om zo meer te weten te komen over ringspanningen. Verkade promoveerde weliswaar op dit onderzoek, maar kwam tot de conclusie dat hydratatiesnelheden geen heldere resultaten konden geven over de ringspanningen in cyclische anhydriden en dat men daarvoor beter verbrandingswarmten kon meten.

Toen Verkade in Rotterdam tot hoogleraar werd benoemd begon hij direct met de ijking en meting van een calorimetrische bom, die hij dankzij het Hoogewerf-fonds had verkregen. In Rotterdam onderzocht hij vanaf 1919 met zijn assistent J. Coops systematisch de relaties tussen fysische eigenschappen en structuren van organische verbindingen door het meten van de verbrandingswarmten. Het waren technisch moeilijke precisiemetingen, waaronder een belangrijk onderzoek over de thermochemische standaardstoffen (1922), die tot doel hadden kwantitatieve gegevens over ringspanningen te verkrijgen. Gemeten werden de verbrandingswarmten van de opeenvolgende termen van homologe reeksen van organische verbindingen en onderzoekingen werden gedaan over de alterneringsverschijnselen in homologe reeksen en het voorkomen van vetzuren met oneven aantal koolstofatomen in de natuur. Jan Coops (1894-1969), die van 1913-1917 in Delft scheikundige technologie had gestudeerd, was op 18 juni 1924 bij Böeseken gepromoveerd op *De stereoisomerie der wijnsteenzuren in verband met de complexvorming met boorzuur*.[60] Toen de Vrije Universiteit in 1929 als vierde faculteit die van de wis- en natuurkunde stichtte, werd Coops hoogleraar scheikunde. Zijn wetenschappelijk werk was een voortzetting van de degelijke traditie van de klassieke organische chemie, waarin het experiment op de eerste plaats stond. Coops' belangstelling ging vooral uit naar de thermochemie, de chemie van de vrije radicalen en de stereochemie. Met zijn leerlingen zette Coops het Rotterdamse onderzoek over de meting van verbrandingswarmten systematisch voort, waarbij steeds grotere nauwkeurigheid werd verkregen. Het thermochemisch werk van Coops en zijn leerlingen - waaronder Klaas van Nes (1914-1989) - bleek zo'n hoge graad van nauwkeurigheid en technische perfectie van de metingen te hebben, dat zijn laboratorium na het National Bureau of Standards in Washington het enige ter wereld was waar de calorimeter absoluuut kon worden geijkt.[61]

Na het vertrek van Coops deed Verkade met zijn assistent Johannes van der Lee, later diredteur van de Keuringsdienst voor Waren in Leeuwarden[62], en de Rotterdamse internist Mozes Elzas een groot stofwisselingsonderzoek betreffende vetverbranding (1930-1938). In Delft voerde Verkade vooral praktisch wetenschappelijke onderzoekingen uit, waaronder de synthese van mono-, di- en triglyceriden, waarbij een of twee alcoholfuncties tijdelijk werden geblokkeerd en waaraan hij in 1935 in Rotterdam was begonnen. Dat dit soort van onderzoek bij zijn studenten niet geliefd was, blijkt uit Verkades afscheidscollege op 4 juli 1961, waarin hij opmerkte: ‘Het is opvallend, dat het werk op het gebied der glycerol-derivaten op de Delftse studenten en promovendi als geheel weinig aantrekkingskracht heeft uitgeoefend. Het had de kwalijke reputatie van nooit te gelukken. Dit is gemakkelijk verklaarbaar. Weliswaar zijn de verbindingen in kwestie eenvoudig van bouw, - dit is bewust een kenmerk van al het door mij ondernomen researchwerk -, maar hun synthese in zuivere toestand met goede opbrengst vereist de uiterste zorg en veel “Fingerspitzengefühl” [...]’.[63] In Delft breidde hij zijn onderzoek uit met de synthese van phospathidezuren en phosphatiden.



XXI. Pieter Eduard Verkade (1891-1979), van 1938 tot 1961 hoogleraar organische scheikunde aan de Technische Hogeschool te Delft. Had grote belangstelling voor de nomenclatuur en de codering van organische verbindingen.

Naast zijn praktisch wetenschappelijk werk heeft Verkade altijd grote belangstelling gehad voor de nomenclatuur en de codering van organische verbindingen. Hij was vanaf 1934 voorzitter van de Commission on the Nomenclature of Organic Chemistry en vanaf 1949 voorzitter van de Commission on Codification, Ciphering, and Punch Card Techniques van de IUPAC. Na zijn emeritaat schreef hij in het *Bulletin de la Société chimique de France* tussen 1966 en 1979 zestien artikelen over de geschiedenis van de nomenclatuur, welke na zijn dood in Engelse vertaling als *A History of the Nomenclature of Organic Chemistry* (1985) in boekvorm werd gepubliceerd.

Theoretische organische chemie

In de jaren twintig werden de elektronische valentrietheorieën van Lewis, Kossel en Langmuir toegepast voor de verklaring van de mechanismen van organische reacties.[64] De nieuwe opvattingen vonden vooral grote belangstelling in de kringen van Britse organisch-chemici. Robert Robinson in Manchester en Arthur Lapworth in Liverpool speculeerden in hun correspondentie hoe polaire en elektronische ideeën in de scheikunde zijn toe te passen. In 1920 publiceerden ze onafhankelijk van elkaar hun opvattingen. In 1922 publiceerde Lapworth, toen hoogleraar in de organische scheikunde aan de universiteit van Manchester, zijn ‘A Theoretical Derivation of the Principle of Induced Alternate Polarities’.[65] Hij deed dit gelijktijdig en onafhankelijk van Robert Robinson, toen verbonden aan de Universiteit van St. Andrews, en William Ogilvy Kermack van het Royal College of Physicians in Edinburgh, in hun ‘An Explanation of the Property of Induced Polarity of Atoms and an Interpretation of the Theory of Partial Valencies on an Electronic Basis’.[66] Volgens deze theorie wordt aangenomen dat een elektropolair atoom, zoals stikstof of zuurstof, een tegengestelde polariteit in een aanliggend koolstofatoom veroorzaakt, dat op zijn beurt hetzelfde doet in een volgend atoom, enz. Op deze wijze veroorzaakt een ‘sleutelatoom’ een reeks van alternerende polariteiten in een koolstofketen en deze polariteiten bepalen de plaats waar additie, enz. in het onverzadigde molecuul kan plaats vinden. Lapworth klassificeerde de organische reacties in ‘anionoid’ en ‘cationoid’ reacties en wist met zijn opvattingen een verklaring te geven van de verschillen tussen orthopara- en metasubstituties bij benzeenderivaten.

De theorie van de geïnduceerde afwisselende polariteit gaf spoedig heftige discussies met andere Britse organisch-chemici, waaronder Christopher Kelk Ingold, hoogleraar organische chemie aan de universiteit van Leeds, die met zijn leerlingen een gelijksoortige benadering voor de verklaring van reactiemechanismen in substituties, hydrolyses en veresteringen ontwikkelde.[67] De discussie tussen met name Lapworth en Ingold, die tussen de jaren 1922 en 1929 plaatsvond, was voor de verdere ontwikkeling van de theoretische organische scheikunde buitengewoon vruchtbaar en leidde uiteindelijk tot een gemeenschappelijk standpunt. In 1933 voerde Ingold, die sinds 1930 hoogleraar aan de universiteit van Londen was, het begrip mesomerie in voor de beschrijving van elektronische tussentoestanden in moleculen. Ingold stelde ook de begrippen nucleofiel en elektrofiel voor.

De in de Angelsaksische wereld ontwikkelde toepassingen van de nieuwe opvattin-



XXII. Jan Coops (1894-1969), de eerste hoogleraar scheikunde aan de Vrije Universiteit te Amsterdam (1929-1964), maakte vooral naam door zijn uiterst nauwkeurige metingen van verbrandingswarmten.

gen over de chemische binding op de organische scheikunde vond in ons land slechts langzaam belangstelling. Herman Johannes den Hertog (1902-1994), van 1949-1972 hoogleraar organische scheikunde aan de Landbouwhogeschool te Wageningen, had tijdens zijn studie in Amsterdam (van 1920-1928) niets gehoord over de aard en de sterkte van chemische bindingen. In zijn 'De lotgevallen van een chemicus, die in 1920 zijn studie in Amsterdam begon', zegt hij daarover: 'Wat kregen wij in 1920 over de grondslagen van de chemie te horen? Over de structuur van het atoom werd op de colleges nauwelijks gesproken'.[68] Noch in het te bestuderen leerboek over de anorganische, noch in dat over de organische chemie van Holleman stond 'iets over de aard en sterkte van de chemische bindingen'. In zijn inaugurele oratie van 1925 had Wibaut uitgesproken dat hij in 'de zoogenaamde electronistische theorie der valentie' weinig heil zag. De pogingen 'die in de laatste jaren vooral door Engelsche en Amerikaansche onderzoekers zijn gedaan, om een theorie der valentie op te bouwen [...] leeren ons ten slotte niets, dat ook niet reeds in de formeele valentieleer begrepen was en al deze hypothesen hebben tot nu toe niet geleid tot scherp geformuleerde conclusies, waaruit a priori zou blijken, of de snelheid eener bepaalde reactie groot of klein zal zijn'.[69] Toen Den Hertog na de oorlog als conservator en lector op het Organisch Chemisch Laboratorium in Amsterdam werkzaam was, hield Wibaut zich onder andere bezig met de voorbereiding voor een nieuwe vijftiende druk van Hollemans *Leerboek der organische Chemie*. Den Hertog hielp hem toen 'een handje met het schrijven van het hoofdstuk over de bepaling van configuraties van optisch actieve verbindingen, maar wat was het moeilijk een boek, waarvan de eerste druk uit 1896 stamde, te moderniseren nu een nieuwe chemie bezig was te ontstaan. Het begrip mesomerie kwam er in, maar mondjesmaat; woorden als electrofiel en nucleofiel waren in de index nog niet te vinden'.[70]

Een van de eerste landgenoten die gebruik maakte van de nieuwe elektronentheorie in de organische scheikunde was Simon Cornelis Johannes Olivier (1879-1961). Deze scheikundig ingenieur van de Polytechnische School in Delft (1901) was een promovendus van Böeseken en op 3 februari 1913 gepromoveerd op *Snelheidsmetingen bij de reactie van Friedel en Crafts*.[71] Olivier was sinds 1905 assistent aan de toenmalige Tuin- en Bosbouwschool in Wageningen en werd bij de omzetting van de Rijks Hogere Land-, Tuin- en Bosbouwschool tot Landbouwhogeschool in 1918 hoogleraar scheikunde. Olivier had een voorliefde voor kwantitatieve methoden van onderzoek om daarmee het wezen van organisch-chemische reacties te leren begrijpen. Vooral snelheidsmetingen bij organische reacties hebben steeds zijn grote belangstelling gehad. Toen hij hiermee tussen 1910 en 1920 begon, was dit een nog vrijwel onontgonnen gebied. Alleen Holleman en Böeseken hadden het belang van deze aanpak ingezien. Olivier hield zich tot 1918 bezig met zijn dissertatieonderwerp, maar ging spoedig over tot het onderzoek naar de invloed van de substituenten in de benzeenkern op de beweeglijkheid van halogeenatomen in de zijketen. Als verklaring nam hij de in zijn tijd sterk de aandacht trekkende theorie van de afwisselende geïnduceerde polariteiten aan.[72]

Olivier heeft met zijn Hongaarse medewerker Géza Berger (1892-1942), een van de slachtoffers van de jodenvervolging in de Tweede Wereldoorlog[73], belangrijk bijgedragen tot de elektronische beschouwingswijze in de organische chemie. Zij onderzochten vanaf 1922 de invloed van substituenten in de benzeenkern op de be-

weeglijkheid van halogeenatomen in de zijketen ervan. De gevonden regels bleken gedeeltelijk goed verklaarbaar te zijn met de theorie van de afwisselende geïnduceerde polariteiten. Daarnaast hield hij zich bezig met de invloed van de concentratie van de waterstofionen op de hydrolysesnelheid van esters van zwakke zuren en verrichtte hij studies over de structuur van rubber. Een van zijn leerlingen, Anton Philip Weber (1910-1965), promoveerde bij hem op *Betrekkingen tusschen de constitutie van organische verbindingen en den invloed van het hydroxyl-ion bij hydrolyse* (5 juli 1934). Na een carrière als researchchemicus bij Van den Bergh's en Jurgens' Fabrieken te Rotterdam (1939) en hoofd van de afdeling research van het Vezelinstituut TNO te Delft (1943), werd Weber in 1948 benoemd tot hoogleraar in de technologie aan de landbouwhogeschool te Wageningen.

Het *Chemisch Weekblad* informeerde snel over de nieuwe theoretische opvattingen. In 1923 merkte H.A.J. Schoutissen op: 'In dit verband kan het nuttig zijn er nog op te wijzen, dat men zich het verloop der vierde binding in het benzol zeer eenvoudig voorstellen kan met behulp der Lewis-Langmuir-theorie'.[74] De apotheker Constantijn Frederik van Duin (1891-1946), die op 8 oktober 1918 bij Van Romburgh in Utrecht was gepromoveerd op *Onderzoekingen over moderne brisante nitro-explosieven*, schreef in februari 1925 een groot artikel over 'het principe der geïnduceerde afwisselende polariteit in organische verbindingen', waarin hij een kritische beschrijving gaf van de onderzoekingen die als toetsing van de theorie waren beschreven.[75]

Van Duin zag grote toekomst in de mesomerietheorie en sprak over 'das Fundament der künftigen Entwicklung der organischen Chemie'.[76] Maar Walter Hückel merkte in zijn *Theoretische Grundlagen der Organischen Chemie* op: 'Die Leistungsfähigkeit der Theorie der induzierten alternierenden Polaritäten ist daher wohl manchmal überschätzt worden; sicherlich unberechtigt ist der Optimismus von van Duin, der in ihr die kommende Theorie, "das Fundament der künftigen Entwicklung der organischen Chemie", sieht. Die Probleme der Reaktionsgeschwindigkeit liegen zu tief in den Eigentümlichkeiten der Konstitution verankert, als daß man sie ganz allgemein durch ein mühelos anzuwendendes Schema, welches die Atome abwechselnd mit + und - bezeichnet, erfassen könnte'.[77]

In juni 1925 reageerde H.J. Prins op het overzicht van Van Duin. Hij wees erop dat 'men rekening moet houden met het polaire karakter der uit meervoudig gebonden atomen bestaande verbindingen en met de relatieve sterkte der polaire groepen'.[78] In maart 1925 had hij al duidelijk uitgesproken: 'In de organische chemie hebben de polaire groepen ontstaan doordat uitgesproken electrophiele of electrophobe atomen gebonden zijn aan atomen van relatief tegengesteld of neutraal karakter'.[79]

Toen Holleman op 28 augustus 1929 ter gelegenheid van zijn zeventigste verjaardag een aflevering van het *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas*, waaraan hij sinds 1894 als medewerker en redactuer was verbonden, kreeg aangeboden, merkte Wibaut op: 'De quantitatieve onderzoekingen over de vervanging van groepen in benzeenderivaten welke in latere jaren uit uw laboratorium zijn verschenen, vormen tezamen met de onderzoekingen over substitutie in het benzeen, een belangrijk materiaal om een nieuwe theorie der valentie, welke voornamelijk door Engelsche en Amerikaansche onderzoekers is opgesteld, te toetsen'.[80] Ingold schreef een bijdrage over 'the principles of aromatic substitution, from the standpoint of the electronic

theory of valency', dat geschreven was 'in accordance with a suggestion that it should bring together results and conclusions which have been stated, often without complete continuity, in a large number of isolated communications from these laboratories [de Organic Chemistry Laboratories van de University of Leeds]. It should therefore be regarded as the contribution of a group, not as that of an individual'.[81]

Voor de Tweede Wereldoorlog namen de hoofdrolspelers in de Nederlandse organische chemie niet of nauwelijks deel aan de moderne, vooral Angelsaksische ontwikkelingen binnen hun discipline. Kwantummechanische begrippen werden pas na de Tweede Wereldoorlog in de fysische organische chemie gebruikt. De term was in 1940 geïntroduceerd door de Amerikaanse chemicus Louis Plack Hammett in zijn *Physical Organic Chemistry Reaction Rates, Equilibria and Mechanisms*. Het was Egbertus Havinga, die direct na zijn benoeming tot hoogleraar aan de Leidse Universiteit in 1946 de kwantummechanische denkwijze in de organische chemie introduceerde.[82] De eerste hoogleraar in de theoretische organische chemie in ons land was Luitzen Johannes Oosterhoff (1907-1974), die na een carrière op het Shell-laboratorium in Amsterdam in 1950 als buitengewoon hoogleraar op de nieuwe Leidse leerstoel werd benoemd. Oosterhoff was in 1949 bij de fysicus H.A. Kramers in Leiden gepromoveerd op het proefschrift *Restricted free rotation and cyclic molecules*.[83] De Technische Hogeschool in Delft benoemde in 1948 Bartholomeus Meindert Wepster (1920-1992) tot lector in de theoretische organische chemie; de Gemeente Universiteit van Amsterdam in 1949 Frederik Leonardus Johannes Sixma (1923-1963) en de Vrije Universiteit in 1953 Gerrit Jan Hoijtink (1925-1978). In 1952 publiceerde P.H. Hermans zijn *Inleiding tot de theoretische organische chemie*, dat hij opdroeg 'aan mijne Delftse vrienden Jan Berk, Ri Derx, Kees Gelissen en Chris Maan'. Hermans probeerde in zijn boek 'vooral, ook aan de quantenmechanische beschouwingswijze het recht te doen wedervaren dat haar toekomt'[84], maar zijn poging ondervond in ons land nauwelijks enige waardering.

Het onderzoek van organische natuurstoffen

Naast de beide hoofdstromen van organisch-chemisch onderzoek in het begin van deze eeuw rond de hoogleraren Holleman en Böeseken, werd ook onderzoek verricht naar de organische chemie van natuurproducten. In 1890 vertrok Pieter van Romburgh (1855-1945) naar Nederlands Oost-Indië als chef van de derde afdeling van 's Lands Plantentuin te Buitenzorg op Java, die de cultuurtuin alsmelde het landbouwkundig-chemisch laboratorium omvatte. Van Romburgh had bij Van Bemmelen en Franchimont in Leiden scheikunde gestudeerd (1874-1879) en was 22 december 1881 bij de laatste gepromoveerd op een proefschrift *Over isomere chloorsubstitutieproducten van propaan en propyleen*.[85] In Indië deed Van Romburgh uitvoerig onderzoek over de samenstelling van een groot aantal natuurproducten. Hij onderzocht enige duizenden planten op de aanwezigheid van vluchtige bestanddelen, waarbij het zowel om zuiver wetenschappelijk onderzoek ging als om na te gaan of zich daaronder producten bevonden, die van nut konden zijn voor landbouw of industrie. Ook onderzocht hij allerlei cultuurproducten (thee, caoutchouc, getah-pertja) om de bereiding te verbeteren en de cultures daardoor zelf op hoger peil te brengen. Reeds in

1891 wekte hij de indigoplanters op zich krachtig te wapenen voor de komende strijd tegen de synthetisch bereide indigo door de productie en de fabricage op zo'n hoog mogelijk peil te brengen. Maar in 1928 moest hij vaststellen: ‘De indigocultuur [is] dood, omgebracht door de chemie’.[86] Het gehele Indische werk van Van Romburgh toont een vruchtbaar samengaan van toegepaste en zuivere wetenschap.

In juni 1902 werd Van Romburgh in Utrecht als hoogleraar in de organische chemie benoemd als opvolger van Eduard Mulder (1832-1924). Pas in 1903 keerde hij uit Indië terug en hield hij op 4 mei van dat jaar zijn oratie over *De beteekenis van het wetenschappelijk onderzoek van Organische Natuurproducten*. Daarin wees hij onder andere op het toen recente onderzoek door Nederlandse chemici aan het glucoside indicaan, dat in indigo-leverende planten voorkomt. De Delftse hoogleraar Sebastiaan Hoogewerff (1847-1934) en zijn assistent Henri ter Meulen (1871-1942) waren er in 1900 in geslaagd deze stof in gekristalliseerde toestand te verkrijgen en de samenstelling ervan te bepalen, terwijl Johannes Jacobus Hazewinkel (1868-1917), directeur van het Proefstation voor Indigo te Klaten op Java en de Delftse hoogleraar in de microbiologie Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) in ons land wisten aan te tonen dat bij enzymatische splitsing behalve glucose ook indoxyl ontstaat, een stof die vooral in zwak alkalische oplossing gemakkelijk door luchtzuurstof tot indigoblauw wordt geoxideerd. Dit werpt ‘een geheel nieuw licht op de indigobereiding en [heeft] aanleiding gegeven tot [...] krachtige pogingen om aan de concurrentie van de kunstmatige indigo, die zoowel op Java als in Britsch-Indië de indigo-cultuur met ondergang dreigt, het hoofd te beiden’.[87] Van Romburgh hoopte dat de indigocultuur op Java de concurrentie met de synthetische indigo zou kunnen overleven, tevergeefs zoals wij nu weten. Nog in 1920 sprak hij in een voordracht op de algemene vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging de hoop uit dat de kansen van ‘het voor de indigoplanters vreeselijke spook van de synthetische indigo’ door de economische toestand na de Eerste Wereldoorlog modelijk aanzienlijk gedaald waren: ‘In Britsch-Indië is tijdens den oorlog de cultuur uitgebreid en daar te lande heeft men, sinds men op Java de onderzoekingen op het gebied van de indigo staakte, niet stil gezeten. Zou nu ook niet op Java, wanneer het kapitaal, met behulp van energieke mannen van de praktijk en bijgestaan door wetenschappelijke botanici en chemici, zich nogmaals op de indigocultuur wierp, een betere tijd voor haar aanbreken, wellicht zou zij dan in staat wezen, den strijd met de synthetische indigo met goed gevolg aan te binden. Kan hier niet de chemie van groot belang blijken voor de bevordering van den voorspoed van Java?’.[88]

In Utrecht hield Van Romburgh zich vooral bezig met experimenteel organisch-chemisch werk en onderzocht hij de nitraminen en nitroverbindingen alsmede de inwerking van mierenzuur op meerwaardige alcoholen, terwijl hij zich ook bleef bezighouden met het onderzoek naar de samenstelling van natuurproducten. Kruyt schreef over Van Romburgh, dat deze ‘in een tijd, dat de biochemische richting in de organische chemie nog niet tot ontwikkeling gekomen was, door zijn onderzoekingen over stoffen uit de plantenwereld pionierswerk [heeft] gedaan; het is geen toeval, dat de Faculteit (met zijn medewerking) als opvolger eerst Ruzicka en later Kögl koos’.[89]

De bio-organische chemie

Als opvolger van Van Romburgh op de Utrechtse leerstoel voor organische chemie werd in 1926 Leopold Stephan Ruzicka (1887-1976) benoemd. Hij was Kroaat, die sinds in 1917 het Zwitserse staatsburgerschap bezat. Ruzicka was in 1910 bij Hermann Staudinger in Karlsruhe gepromoveerd op een onderzoek over ketenen en was sinds 1923 titulair hoogleraar aan de Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) in Zürich. Daar werkte hij samen met de Zwitserse parfumfirma M. Naef et Cie te Genève, waar hij hogere terpenen onderzocht en de onverzadigde alcoholen nerolidol en farnesol synthetiseerde. Hij wist ook de structuur van jasmon en de muskusparfums civeton en muscon te bepalen. Zijn belangstelling ging primair uit naar het verband tussen de fysiologische eigenschappen en de moleculaire structuur van organische natuurproducten. In 1939 kreeg hij de Nobelprijs voor chemie (samen met Adolf Butenandt) voor zijn werk over polymethylenen en hogere terpenen.

Op 19 december 1926 hield Ruzicka zijn oratie *Ueber den Bau der organischen Materie*. Hij bleef slechts vier jaar in Utrecht, waar hij zeer gelukkig was, maar waar hij geconfronteerd werd met de slechte huisvesting van zijn laboratorium aan de Catharijnesingel. Al in 1929 keerde hij terug naar Zürich waar hij op de eerste leerstoel voor anorganische en organische chemie aan de ETH werd benoemd. In zijn autobiografische herinneringen schreef hij over zijn Utrechtse jaren: 'In the spring of 1926, after I had published my first paper on the musk perfumes and synthetic multimembered rings, I was offered the Chair of organic chemistry at the University of Utrecht, and I decided to move to Holland with three of my collaborators. [...] I soon felt at home in Holland. [...] I passed three happy years in Holland, but that was all. The ETH offered me in 1929 the Chair of inorganic and organic chemistry'.[90] In Utrecht werkte hij vooral over macrocyclische verbindingen en sesquiterpenen. Terug in Zürich deed hij in samenwerking met de firma CIBA zijn baanbrekend onderzoek aan menselijke geslachtshormonen. Hij toonde aan dat ringverbindingen met meer dan zes koolstofatomen heel goed stabiel kunnen zijn.

Na dit korte intermezzo werd de privaatdocent organische chemie en directeur van het organisch-chemisch laboratorium van de universiteit van Göttingen, Fritz Kögl (1897-1959) in Utrecht benoemd. Hij hield op 27 oktober 1930 zijn oratie *Wege und Ziele der Erforschung von Natuustoffen*. Als voorwaarde had hij de bouw van een nieuw laboratorium voor organische chemie gesteld, dat hij acht jaar later, op 23 november 1938, kon openen.[91]

Kögl, die in München scheikunde had gestudeerd (1916-1920) en bij de latere Nobelprijswinnaar Heinrich Otto Wieland op 22 oktober 1922 op een proefschrift *Weiteren Untersuchungen über Derivate des vierwertigen Stickstoffs* was gepromoveerd, had in Duitsland naam gemaakt door zijn onderzoekingen over de samenstelling van kleurstoffen in paddestoelen, waarvoor hij nieuwe microtechnische methoden moest ontwikkelen. Hij had gevonden dat sommige kleurstoffen uit paddestoelen en schimmels derivaten zijn van 2,5-difenylchinon. Uit de vliegenzwam isoleerde hij de rode kleurstof muscarufine (1930). De in de vliegenzwam voorkomende farmacologisch interessante gifstof muscarine zou hem zijn gehele leven bezighouden. Op 4 november 1935 promoveerde zijn leerling Haaye Veldstra (1907-1997) *Over muscarine. Onderzoek naar de structuur door synthese*.[92] Veldstra hield zich daarna op het labo-

ratorium van de Amsterdamse Chininefabriek vooral bezig met onderzoekingen over het verband tussen de chemische structuur en de fysiologische activiteiten van plantengroeistoffen.[93] Van 1953-1972 was hij hoogleraar organische chemie aan de Leidse universiteit. Overigens lukte het Kögl pas enkele jaren voor zijn dood de chemische structuur van het muscarine volledig op te helderen en door synthese te bevestigen.

Gezien Kögls Duitse onderzoek lag het voor de hand dat hij bij zijn komst in Utrecht verder zou gaan met de isolering en structuuropheldering van natuurstoffen. Hij raakte echter snel geïnteresseerd in het onderzoek van de hoogleraar en directeur van het botanisch laboratorium Friedrich August Ferdinand Christian Went (1863-1935) over de lengtegroei door celstrekking bij hogere planten. Wents zoon Frits Warmolt (1903-1990) had aangetoond dat deze geregeld wordt door een stoffelijke factor van organisch-chemische aard, een groeistof (1926).[94] Kögl besloot deze in zeer kleine hoeveelheden in de beschikbare uitgangsmaterialen voorkomende verbindingen, die hij auxinen noemde, te isoleren en zo mogelijk chemisch te karakteriseren. Met zijn medewerker Arie Jan Haagen Smit (1900-1977), die op 20 september 1929 bij Ruzicka was gepromoveerd op *Onderzoekingen op het gebied der sesquiterpenen (Guajol, Azulenen, Farnesol, Copaeen)*, publiceerd hij een artikel ‘Ueber die Chemie des Wuchsstoffs’, de eerste mededeling over de afscheiding van het eerste auxine uit urine.[95] In 1931 isoleerde hij met zijn Duitse assistente Hanni Erxleben en een aantal jonge medewerkers uit menselijke urine en korenolie twee werkzame stoffen, die als groeifactoren werden aangemerkt: auxine-a en -b, beide cyclopenteenderivaten, waarvan de structuur kon worden vastgesteld. Bij voortgezet onderzoek vond Kögl in urine en later ook in gist een verbinding, die eveneens invloed op de celstrekking uitoefende, maar chemisch niet verwant was aan de auxinen. Deze nieuwe groeistof bleek een stikstofbevattend zuur te zijn, dat hij hetero-auxine (indol-3-azijnzuur) noemde (1934), maar hij hechtte weinig waarde aan deze ontdekking. Van deze verbinding werd een reeks plantengroei- en remstoffen bereid die in de land- en tuinbouw op grote schaal toepassing vonden onder meer voor de selectieve bestrijding van onkruid. Kögl hield zich voorts bezig met de celdelingsfactoren van plantaardige micro-organismen. In 1936 lukte het hem uit ‘bios’, een materiaal dat nodig is voor de groei van gist, het biotine in kristallijne vorm te isoleren, waarvan slechts één milligram in 250 kilogram eigeel voorkomt. Deze stof bleek later identiek te zijn met het voor mens en dier onontbeerlijke vitamine H (1940).[96]

De onderzoekingen van Kögl over auxine en biotine waren meesterstukken van experimenteerkunst. Zijn ontdekking van auxine-a en -b werd algemeen aanvaard als zijnde de natuurlijke groeistof. Maar niemand, ook Kögl niet, was in staat de beschreven experimenten te reproduceren. Er ontstonden ernstige twijfels aan de theorie, maar pas na de Tweede Wereldoorlog vond de in 1936 naar de Verenigde Staten geëmigreerde Haagen Smit, toen hoogleraar aan het California Institute of Technology te Pasadena, dat het in plantenmateriaal voorkomende indol-3-azijnzuur als het natuurlijke auxine moest worden aangemerkt. Kögl hield echter vast aan zijn theorie. Na zijn overlijden zou blijken dat de experimenten die zijn Duitse medewerkster in zijn opdracht uitvoerde en rapporteerde weinig betrouwbare resultaten hadden opgeleverd. De neven Johannes Arie (*1936) en Johannes Frederik Gerardus (*1936) Vliegenthart onderzochten op het organisch-chemische laboratorium van de

Utrechtse Universiteit met grote zorgvuldigheid uit de door Erxleben nagelaten verzameling preparaten aan de hand van de bewaard gebleven laboratorium verslagen massaspectrometrisch authentieke monsters auxine-a, auxine-b en auxine-a-lacton. Het bleken allemaal vervalsingen te zijn: auxine-a was cholzuur, auxine-b was thiosemicarbazide en auxine-a-lacton was hydrochinon. 'None of the samples has the composition originally proposed. No relation exists between the structures of the auxins, between the structures of the auxins and their derivatives, nor between the structures of the derivatives of the auxins. Thus, auxins a and b are to be regarded, as non-existent', aldus de conclusie van de beide chemici.[97]

Hetzelfde geldt voor Kögls opzienbarende hypothese over het ontstaan van kwaadaardige tumoren, welke hij op 28 januari 1939 voor de Academie van Wetenschappen bekend maakte. Kögl verklaarde het ontstaan van kwaadaardige weefselgroei uit de inbouw van afwijkende aminozuren in een organisme. Naast de gewone bouwstenen, die tot de reeks van de 1-aminozuren behoren, bevatten tumoreiwitten ook de d-aminozuren. Ook deze ontdekking kon niet worden gereproduceerd en was eveneens gebaseerd op jarenlange onjuiste wetenschappelijke resultaten van zijn Duitse medewerkster.[98] Maar ondanks het tragische feit dat de bloeiende onderzoeksgroep van Kögl wetenschappelijk niet altijd heeft gebracht wat hij ervan verwachtte, is Kögl voor de ontwikkeling van de organische chemie in ons land van grote betekenis geweest. Onder zijn leerlingen vinden we, behalve de eerder genoemde Haaye Veldstra ook Havinga en Van der Kerk. Egbert Havinga promoveerde op 30 januari 1939 op het proefschrift *Monomoleculaire lagen. Structuur en chemische reacties*, waarbij men 'in direct contact komt met de wereld der moleculaire dimensies' en waarbij 'er de hoop [is], dat men door de studie van dit gebied iets van de geheimen van de levende natuur zal kunnen ontsluieren'.[99] Gedurende zijn Leids hoogleraarschap (1946-1979) werkte hij over conformatie-analyse, vitamine D, aromatische fotosubstitutie en synthetische peptiden. Gerrit Johan Meine van der Kerk (*1913), die in 1942 bij Kögl promoveerde op *Onderzoekingen over de bioluminescentie der lichtbacteriën*, kreeg grote bekendheid door zijn werk op het gebied van de organometaal- en de cöordinatie-chemie. Hij bekleedde van 1957-1983 de leerstoel voor organische chemie aan de Utrechtse universiteit.

Eindnoten:

1 H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische technologie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 109-110
2 A.P.N. Franchimont, *De verschillende richtingen der chemie, blikken in het verleden, het heden en de toekomst dier wetenschap* (Leiden, 1874), p. 19
3 A.P.N. Franchimont, *De verschillende richtingen der chemie, blikken in het verleden, het heden en de toekomst dier wetenschap*, p. 20
4 P.J. Montagne, 'Een en ander over de relatieve bewegelijkheid van atomen en groepen in organische verbindingen', *Chemisch Weekblad* 17(1920)378-382, 414-417. Over Montagne: *Chemisch Weekblad* 21(1924)585-591
5 Zie over Backer: *Chemisch Weekblad* 33(1936)431-438 en 55(1959)261-262
6 H.J. Backer, *Macht en idealen der organische chemie* (Groningen, 1916), p. 8
7 H.J. Backer, *Macht en idealen der organische chemie*, p. 12
8 H.J. Backer, *Macht en idealen der organische chemie*, p. 13
9 H.J. Backer, *Macht en idealen der organische chemie*, p. 20

10 Zie over Holleman: *Chemisch Weekblad* 9(1912)232-241; 15(1918)1296-1325; 21(1924)438-444; 26(1929)441-444; 36(1939)581-585; 49(1953)673-676; *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1954-1955, pp. 280-287 en *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 74(1955)1371-1375

11 A.F. Holleman, *Chemisch Weekblad* 21(1924)441

12 A.F. Holleman, *Twee richtingen der scheikunde met elkander vergeleken* (Groningen, 1893), p. 30

13 A.F. Holleman, *Over de beteekenis der physisch-chemische methoden voor de organische chemie* (Groningen, 1905), p. 28

14 A.F. Holleman, ‘Sur la nitration de l'acide benzoïque et de ses éthers méthylique et éthylique’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 18(1899)267-291

15 A.F. Holleman, *Chemisch Weekblad* 3(1906)1-11

16 A.F. Holleman, T. van der Linden en J.J.P. Valeton, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 18(1910)751-768

17 J.J.P. Valeton promoveerde op 12 mei 1915 bij A. Smits in Amsterdam over *Kristalvorm en oplosbaarheid*.

18 A.F. Holleman, *Chemisch Weekblad* 10(1913)604-620

19 A.F. Holleman, *Receuil des travaux chimiques des Pays-Bas* 42(1923)355-379

20 A.F. Holleman, *Die direkte Einführung von Substituenten in den Benzolkern* (Leipzig, 1910), p. 195

21 A.F. Holleman, ‘Afscheidscollege’, *Chemisch Weekblad* 21(1924)438-444 (443)

22 Zie over Wibaut: *Chemisch Weekblad* 34(1937)739-748; 46(1950)149; 52(1956)693-705; 57(1961)77 en 58(1962)561-566

23 J.P. Wibaut, *Chemisch Weekblad* 52(1956)789-793 (791)

24 H.J. den Hertog, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993), p. 23

25 Zie over Blanksma: *Chemisch Weekblad* 42(1946)14-18 en 46(1950)793-795

26 P.W.M. van der Weijden, *Verband tusschen smaak en structuur van eenige derivaten van meta-nitraline*. Dissertatie Leiden 17 juni 1939

27 Zie over Böeseken: *Chemisch Weekblad* 4(1907)678-679; 19(1922)201-206; 29(1932)628-634; 35(1938)479-488; 43(1947)289; 47(1951)805-806

28 J.H. van 't Hoff, *Die Lagerung der Atome im Raume* (Braunschweig, 1908), p. 90

29 J. Böeseken, *Chemisch Weekblad* 19(1922)207

30 J. Böeseken, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 46(1913)2612-2628

31 J. Böeseken, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 46(1913)2620

32 J. Böeseken en J. van Giffen, ‘Sur les cyclohexanediols 1,2, et la souplesse de l'anneau benzénique’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 39(1920)183-186

33 Zie ook: H.G. Derx, ‘Contributions à la connaissance de la configuration des systèmes annulaires dans l'espace’, *Recueil* 41(1922)312-342. Ook: J. Böeseken en H.G. Derx, ‘Sur la distinction et la séparation des diols cycliques 1.2 cis et trans au moyen d' acétone’, *Recueil* 40(1921)519-524

34 Over Hermans: D. Vermaas, *Chemisch Weekblad* 45(1949)181-183; G. Challa en D. Heikens, *idem* 59(1963)177-179; Chr. J. Maan, *idem* 15 maart 1974, p. 15; D. Heikens en G. Challa, *idem* 6 april 1979, p. 1

35 P.H. Hermans, *Onderzoek naar de ruimtelike konfiguratie van enkele glykolen* (Delft, 1924) en ‘Über die Reaktion einiger Glykole mit Aceton’, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 113(1924)337-388

36 P.H. Hermans, *Onderzoek naar de ruimtelike konfiguratie van enkele glykolen* (Delft, 1924), p. 38. Jan Berk studeerde in 1924 in Delft als scheikundig ingenieur af en werd directeur van de N.V. Koninklijke Kamper Emaillefabriek te Kampen.

37 P.H. Hermans en Chr. J. Maan, ‘Beitrag zur Stereochemie des siebengliedrigen Kohlenstoffringes’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 57(1938)643-652

38 P.H. Hermans, ‘Voorloopige mededeeling over boorzuurverbindingen van enkele meer dan één hydroxylgroep bevattende organische stoffen. Borium als vijfwaardig element’, *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 31(1923)626-636 en ‘Über die Konstitution der Borsäuren und einiger ihrer Derivate’, *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 142(1925)83-110 en 399-400; J. Böeseken, ‘De valentie van het borium’, *Verslag* 31(1923)591-605

39 Böeseken bleef belangstelling houden voor zijn boorzuuronderzoekingen. Op 5 mei 1927 promoveerde Roelof Verschuur op *De verandering van de rotatie en van het geleidend vermogen van enkele suikers in waterige oplosing met en zonder boorzuur*, op 11 juni 1931 Nicolaas Vermaas op een *Bijdrage tot de kennis van de evenwichten welke bij Böeseken's configuratiebepalingsmethode voor glykolen en oxyzuren een rol spelen*.

40 J. Böeseken, *Chemisch Weekblad* 19(1922)207-213

41 J. Böeseken, *Chemisch Weekblad* 19(1922)213

42 In zijn dissertatie *Een vergelijkend onderzoek van den verzadigden koolstofvijf- en -zesring* (Delft, 7 maart 1928) geeft Christiaan Johannes Maan een kritisch overzicht over de ontwikkeling

van de inzichten over de bouw van verzadigde koolstofverbindingen et meer dan vijf koolstofatomen in de ring.

43 O.B. Ramsay, ‘Konformationsstudien an cyclischen Verbindungen im 19. und frühen 20. Jahrhundert’, *Chemiker Zeitung* 97(1973)573-582; ‘De Delftse School: een vergeten bijdrage tot de ontwikkeling der conformatie-analyse’, *Chemisch Weekblad* 70(1974), 12 juli, pp. 21-23 en ‘The Early History and Development of Conformational Analysis’, in: *Essays on the History of Organic Chemistry*. Ed. J.G. Traynham (Baton Rouge, London, 1987), pp. 54-77. Hermans zelf was het niet eens met de plaatsing van het begin van de conformatie-analyse in zijn eigen werk, maar gaf de eer aan Van 't Hoff (‘Has van 't Hoff been well read and understood by the profession?’, in: *Van 't Hoff-Le Bel Centennial*. Ed. O. Bertrand Ramsay (Washington, 1975), pp. 123-125). Zie ook: Hermans, ‘Het oerbegin der conformatie-analyse’, *Chemisch Weekblad*, 23 augustus 1974, pp. 10-11

44 C. Altona, ‘Conformatieanalyse 30 jaar Leidse School’, in: *Liber Amicorum E. Havinga* (Leiden, 1979), pp. 31-80. Vgl.: E. Havinga, *Enjoying Organic Chemistry, 1927-1987* (Washington, 1991). Over Havinga: Th. J. de Boer, *Jaarboek Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1989, pp. 153-156

45 P.H. Hermans, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 113(1924)361

46 Archief Historische Commissie KNCV

47 ‘Dem Versuch von Derx, R[ecueil] 41, 312 (1922), aus Leitfähigkeitsbestimmungen der Borsäure Rückschlusse zu ziehen auf die räumliche Konfiguration des Cyclo-pentans kann keine Beweiskraft zugesprochen werden’. (L. Ruzicka, W. Brugger, M. Pfeiffer, H. Schinz, M. Stoll, *Helvetica Chimica Acta* 9(1926)499-520, voetnoot 503.) Hermans schreef abusievelijk 1928.

48 Brief D.H.R. Barton aan P.H. Hermans, 17 april 1972. In: O. Bertrand Ramsay, *Essays on the History of Organic Chemistry*, p. 77

49 J. Böeseken, *Chemisch Weekblad* 33(1936)206-214

50 P. Cohen Henriquez, *Eenige toepassingen van de diëlectrische constante in de chemie*. Dissertatie Delft 5 juni 1935

51 A.E. Lacomblé, ‘De valentieleer van Werner en het benzol’, *Chemisch Weekblad* 15(1918)400-405

52 A.F. Holleman, *Leerboek der organische chemie* (Groningen, Den Haag, zesde druk, 1915), p. 420

53 A.F. Holleman, *Leerboek der organische chemie* (Groningen, Den Haag, tiende druk, 1927), p. 397

54 E.H. Buchner, *Chemisch Weekblad* 16(1919)521-527 en 596 (526)

55 G. Elsen, ‘Moderne quantummechanica en het benzolprobleem’, *Chemisch Weekblad* 30(1933)310-317 en 322-328

56 H.H. Kubbinga, ‘Spel en ernst in de organische chemie: de benzoltheorie van Lely anno 1922’, *Chemisch Magazine* december 1981, pp. 745-748 en januari 1982, pp. 39-41

57 C.W.A. Lely, *Chemisch Weekblad* 19(1922)593-599 en 20(1923)90-96

58 J. Böeseken, ‘Katalytische verschijnselen’, *Chemisch Weekblad* 8(1911)555-579. Vgl.: H.J. Prins, ‘Uit de historie der katalyse’, *Chemisch Weekblad* 14(1917)1000-1004

59 Zie over Verkade: *Chemisch Weekblad* 57(1961)359-376; 75(1979), 2 oktober, pp. 2-3 en *Jaarboek Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1979, pp. 173-177

60 Zie over Coops: *Chemisch Weekblad* 50(1954)865-872 en *Jaarboek Vrije Universiteit 1969*, pp. 61-74

61 J. Coops, K. van Nes, e.a., ‘Researches on heat of combustion’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 65(1946)113-176

62 J. van der Lee promoveerde op 6 juli 1925 bij Blanksma over *Nitratie van kaneelzuurderivaten*.

63 P. Verkade, ‘Vijftig jaren organische chemie’, *Chemisch Weekblad* 57(1961)353-359 (357)

64 Vgl.: R.E. Kohler Jr., ‘The Lewis-Langmuir Theory of Valence and the Chemical Community, 1920-1928’, *Historical Studies in the Physical Sciences* 6(1975)431-468

65 A. Lapworth, *Journal of the Chemical Society* 121(1922)416-427

66 W.O. Kermack en R. Robinson, *Journal of the Chemical Society* 121(1922)427-440

67 K. Schofield, ‘The development of Ingold's system of organic chemistry’, *Ambix* 41(1994)87-107

68 H.J. den Hertog, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), pp. 19-37 (21)

69 J.P. Wibaut, *De verhouding tusschen theorie en experiment in de organische scheikunde* (Amsterdam, 1925), pp. 13 en 14

70 H.J. den Hertog, in: *Werken aan scheikunde*, p. 29

71 Zie over Olivier: *Chemisch Weekblad* 45(1949)385-389 en *Landbouwkundig Tijdschrift* 62(1950)7-9 en 73(1961)819-821

72 S.C.J. Olivier, ‘L' influence de quelques substituants dans le noyau benzénique sur la mobilité du chlore de la chaîne latérale, dans ses rapports avec le problème de la substitution dans le noyau benzénique’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 31(1922)301-311, 646-651; 42(1923)516-523

73 *In Memoriam* (Den Haag, 1995), p. 50

74 H.A.J. Schoutissen, ‘Over de structuurformule van benzol’, *Chemisch Weekblad* 20(1923)29-31 (30)

75 C.F. van Duin, *Chemisch Weekblad* 22(1925)146-156
76 C.F. van Duin, 'Über de künftige Entwicklung der organischen Chemie', *Zeitschrift für physikalische Chemie* 130(1927)353-364
77 W. Hückel, *Theoretische Grundlagen der Organischen Chemie* (Leipzig, 1931), deel II, p. 264
78 H.J. Prins, 'De polaire natuur van de benzolkern in verband met de theorie der geïnduceerde afwisselende polariteit', *Chemisch Weekblad* 22(1925)365-367 (367)
79 H.J. Prins, 'Affiniteit, valentie en electronen', *Chemisch Weekblad* 22(1925)302-311 (311)
80 J.P. Wibaut, *Chemisch Weekblad* 26(1929)443
81 C.F. Ingold, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 48(1929)796-812 (796)
82 E. Havinga, *Enjoying Organic Chemistry, 1927-1987* (Washington, D.C., 1991)
83 Over Oosterhoff: *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1974, pp. 183-185 en E. Havinga, *Chemistry in Britain* 11(1975)328-329
84 P.H. Hermans, *Inleiding tot de theoretische organische chemie* (Amsterdam, enz. 1952), p. VII
85 Zie over Van Romburgh: *Chemisch Weekblad* 23(1926)22-57; 41(1945)26 en *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 1944-1945*, pp. 141-144
86 P. van Romburgh, 'Verdwenen culturen. Een waarschuwend voorbeeld', *Gedenknummer van de 'Indische Mercuur' 1878-1928*, p. 11
87 P. van Romburgh, *De beteekenis van het wetenschappelijk onderzoek van Organische Natuurproducten* (Utrecht, 1903), p. 20
88 P. van Romburgh, 'Het belang der chemie voor onze koloniën', *Chemisch Weekblad* 17(1920)206-214(209)
89 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 41(1945)26
90 L. Ruzicka, 'In the Borderland between Bioorganic Chemistry and Biochemistry', *Annual Review of Biochemistry* 42(1973)1-20 (3-4). Zie over Ruzicka: V. Prelog en O. Jeger, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 26(1980)411-501
91 Zie over Kögl: *Chemisch Weekblad* 51(1955)851-852 en 55(1959)493-494 en *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 1959-1960*, pp. 311-316
92 Zie ook: F. Kögl en H. Veldstra, 'Ueber Muscarin. II', *Annalen der Chemie* 552(1942)1-36
93 Zie bijv.: H. Veldstra, 'Researches on plant growth substances. Relation between chemical structure and physiological activity', *Enzymologia. Acta biocatalytica* 11(1944)97-136, 137-163 (gedateerd 7 november 1942), 'Untersuchungen über pflanzliche Wuchsstoffen. Ueber Struktur und Wirkungsmechanismus der pflanzlichen Wuchs- und Hemmstoffen', *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 62(1943)841-852 en 'Plantengroeistoffen en practische toepassingen', *Chemisch Weekblad* 40(1943)158-166, 170-176
94 Vgl.: P. Faasse, *Experiments in growth*. Dissertatie Universiteit van Amsterdam 1994. F.W. Went promoveerde op 14 november 1927 bij zijn vader op een dissertatie *Wuchsstoff und Wachstum*.
95 F. Kögl en A.J. Haagen Smit, *Proceedings of the section of sciences. Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 34(1931)1411-1416. Over Haagen Smit: *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie der Wetenschappen* 1977, pp. 191-192. Haagen Smit deed in Amerika jarenlang onderzoek naar het chemisme van de smogvorming. Al vóór 1950 zag hij in, dat door zonlicht geïnduceerde reacties van koolwaterstoffen en nitreuse dampen, alsmede ozonvorming, een hoofdrol in de smogvorming spelen.
96 Vgl. het historisch overzicht in de dissertatie van Garrelt Jurjen Schuringa, *De foto-inactivering van auxine-a-lacton*, waarop hij op 17 februari 1941 bij Kögl promoveerde.
97 J.A. Vliegenthart en J.F.G. Vliegenthart, 'Reinvestigation of authentic samples of auxins A and B, and related products by mass spectrometry', *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 85(1966)1266-1272 (1272)
98 F.J. van Burken, *Honderd jaar organische chemie in Utrecht 1876-1976. Een periode van groei, bloei en stagnatie* (Utrecht, 1983), pp. 86-91; F. van Kolfschooten, *Valse vooruitgang. Bedrog in de Nederlandse wetenschap* (Amsterdam, Antwerpen, 1993), pp. 113-122
99 E. Havinga, *Monomoleculaire lagen. Structuur en chemische reacties* (Utrecht, 1939), p. 1

VII. Biochemie

Tot het biochemisch onderzoek in deze eeuw behoort niet alleen de bio-organische chemie, een discipline in het raakvlak van organische chemie en biochemie, die zich vooral bezighoudt met de bestudering van biologische processen op moleculair niveau, maar ook wat in de vorige eeuw fysiologische chemie werd genoemd. Hieronder verstond men dat deel van de scheikunde dat zich bezighoudt met de omzettingen van stoffen in de levende organismen. Vanaf 1835 deed Gerrit Jan Mulder (1802-1880) fysiologisch-chemische onderzoekingen, waarin hij vaststelde dat, wanneer hij weefselextracten van planten en dieren verhitte of aanzuurde zich vezelige neerslagen vormden die uit de elementen koolstof, waterstof, stikstof en zuurstof waren samengesteld (1838). Deze neerslagen, de proteïnen, zijn de belangrijkste bestanddelen van de levende materie en zonder hen is leven niet mogelijk.[1] Bij de chemicus Mulder stond de organisch-chemische analyse primair. Geleidelijk verschoof de aandacht van de onderzoekers zich naar de organen, waarbij de chemische analyse geen doel meer op zich was, maar een hulpmiddel.[2] De nadruk lag vooral op het fysiologische aspect, waardoor het niet vreemd is dat vooral medici zich bezighielden met fysiologisch-chemische onderzoekingen en dat dat onderzoek in de eerste plaats in de geneeskundige faculteiten van de universiteiten plaats vond.

Rond de eeuwwisseling werd in ons land de fysiologische chemie vertegenwoordigd door de medici Hamburger en Pekelharing. Hartog Jacob Hamburger (1859-1924), die in Utrecht scheikunde en geneeskunde had gestudeerd, was sinds 1901 hoogleraar in de fysiologie en histologie aan de Groningse universiteit, waar hij zich vooral bezighield met de toepassing van de toen nieuwe fysische chemie in de geneeskunde. In deze periode verscheen zijn hoofdwerk: *Osmotischer Druck und Ionenlehre in den medicinischen Wissenschaften* (1902-1904). Cornelis Adrianus Pekelharing (1848-1922) had in Leiden geneeskunde gestudeerd en werd in 1881 in Utrecht hoogleraar in de medische faculteit, eerst voor algemene ziektekunde en ziektekundige ontleedkunde, later (1888) voor histologie en fysiologische scheikunde. Hij was vooral werkzaam op het gebied van de fysiologische scheikunde en hield zich bezig met onderzoekingen over de vertering van eiwitten en de bloedstolling.

Op verzoek van de regering vertrok Pekelharing in oktober 1886, vergezeld door de Utrechtse neuroloog Cornelis Winkler (1855-1941) en de militaire arts Christiaan Eykman (1858-1930) naar Nederlands Oost-Indië met de opdracht de oorzaken van de beri-beri na te gaan. Op voorstel van Pekelharing werd in Weltevreden (thans een stadsdeel van Jakarta) een laboratorium voor pathologische anatomie en bacteriologie, het zogenoemde Geneeskundig Laboratorium opgericht, dat onder leiding van Eykman kwam te staan.

Eykman was van oktober 1883 tot november 1885 als officier van gezondheid in Indië geweest en toen wegens ziekte met verlof naar Nederland teruggekeerd.[3] Op het Geneeskundig Laboratorium in Weltevreden ging hij zich nu bezighouden met onderzoekingen over de etiologie van de beri-beri. Hij deed voedingsproeven met kippen en nam daarbij waar, dat kippen die alleen met gepelde tafelrijst gevoed werden na enige tijd ziekteverschijnselen vertoonden die aan die van beri-beri bij de mens deden denken. De ziekteverschijnselen bleven uit toen Eykman de dieren met ongepelde rijst voedde. Blijkbaar zitten er in de zaadhuid van de rijst en in het bijzonder in het binnenste deel ervan (het ‘zilvervliesje’) stoffen die voor de voeding niet kunnen worden gemist.

De onderzoekingen van Eykman en zijn medewerkers, in de eerste plaats de arts Gerrit Grijns (1865-1944) met wie hij van 1893 tot 1895 in Indië samenwerkte, waren uiterst belangrijk. Ze vonden dat ook de beri-beri bij de mens zijn oorzaak vindt in een ontoereikendheid in de voeding. Voor deze ontdekking kreeg Eykman, die in 1898 hoogleraar in de hygiëne, medische politie en gerechtelijke geneeskunde in Utrecht werd, in 1929 de gedeelde Nobelprijs voor fysiologie en geneeskunde, samen met de Brit Frederick Gowland Hopkins, hoogleraar in Cambridge.

De voedingsleer en met name de studie van de vitamines, zou een van de belangrijkste pijlers van de Nederlandse biochemie worden. Een probleem was de isolering van de in de rijst voorkomende anti-neuritische stof. Grijns probeerde tevergeefs deze te isoleren (1901) en ook Eykman zelf lukte het niet (1906). Pas in 1926 slaagden B.C.P. Jansen en zijn medewerker W.F. Donath erin de anti-neuritische stof te isoleren: het vitamine B_1.

Barend Coenraad Petrus Jansen (1884-1962) was chemicus, geen arts.[4] Hij had in Amsterdam en Utrecht scheikunde gestudeerd en was op 10 juli 1912 bij Pieter van Romburgh gepromoveerd op een *Bijdrage tot de kennis van het cholzuur*. De belangstelling van Jansen ging al vroeg uit naar een loopbaan, waarbij hij zijn kennis van de scheikunde in dienst van de geneeskunde kon stellen. Zijn grootste belangstelling ging uit naar het onderzoek van chemische problemen die in verband staan tot de fysiologie.

Jansen was van 1912 tot 1916 assistent op het laboratorium voor fysiologische chemie van de medische faculteit van de Universiteit van Amsterdam en sinds 1913 privaatdocent in de biochemie. Als veel van zijn collega's besloot ook hij zijn carrière in Indië te zoeken. In 1917 vertrok hij als chemicus naar Indiè, waar hij in 1919 hoofd van de farmaceutisch-chemische afdeling van het Geneeskundig Laboratorium te Weltevreden werd. In 1927 werd hij bovendien benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de chemie aan de nieuw opgerichte Geneeskundige Hogeschool in Batavia. In 1928 ging hij terug naar Nederland en was tot zijn emeritaat in 1954 hoogleraar in de fysiologische chemie in Amsterdam.

In zijn Indische periode hield Jansen zich bezig met het onderzoek van vitamines. Negen jaar werkte hij aan de isolatie van de onbekende stof die in rijstzemelen moest voorkomen en waarvan Eykman en Grijns de sterke werkzaamheid bij beri-beri bij kippen hadden vastgesteld. Zijn belangrijkste medewerker was Willem Frederik Donath (1889-1957), die farmacie in Utrecht en scheikunde in Zürich had gestudeerd en van 1921 tot 1927 op het Geneeskundig Laboratorium in Weltevreden werkzaam was.[5] In 1926 lukten het Jansen en Donath uit honderden kilogrammen rijstzemelen

één gram thiamine of, zoals Jansen de stof noemde, aneurine (tegen zenuwafwijkingen) in gekristalliseerde vorm te isoleren.

Jansen was niet de enige onderzoeker die zich bezighield met de isolering van het aneurine uit rijstzemelen. In het *Chemisch Weekblad* van 1925 vinden we korte overzichten van Artherton Seidell van het Hygiënisch Laboratorium van de United States Public Health Service in Washington en van Phoebus Aaron Levene en de na zijn studie in Delft naar Amerika geëmigreerde Bernard Jacob Cornelis van der Hoeven (1899-1972) van het Rockefeller Institute for Medical Research in New York over de isolering van het antineuritische vitamine.[6] Op 20 januari 1926 zonden Jansen en Donath een mededeling aan de redactie van het *Chemisch Weekblad* met de stand van hun onderzoek over de isolering van deze vitamine.[7] Op 25 september 1926 bood C. Eykman een mededeling van de beide onderzoekers 'over de isoleering van het antiberiberi-vitamine' aan de Koninklijke Academie van Wetenschappen aan.[8] Hiermee waren Jansen en Donath de eersten die er in slaagden een organische natuurstof, het vitamine B_1, in gekristalliseerde toestand te verkrijgen.

Het vitamineonderzoek werd door Nederlandse onderzoekers met succes voortgezet. De eerste bijdragen tot de scheikunde van vitamine D in ons land stammen uit het einde van de twintiger jaren en waren het resultaat van fotochemisch onderzoek op het laboratorium van Philips in Eindhoven. In 1924 gelukten het de Leidse chemicus Engbert Harm Reerink (1899-1990) en de Utrechtse fysicus Aart van Wijk (1902-1976) het antirachitis werkende vitamine door fotochemische omzetting van ergosterol te isoleren. Uit nauwgezette spectroscopische onderzoekingen werd in 1932 gevonden dat er een provitamine D_3 moest zijn. Bij niet te lage temperatuur werd die door een reversibele thermische reactie in vitamine D omgezet.[9] Op 25 april 1936 deelde de directeur van het laboratorium van Philips te Eindhoven, G. Holst, namens Albert Gerhardus Boer (1904-1939, een promovendus van Kögl), E.H. Reerink en A. van Wijk (allen van Philips) en Jan van Niekerk (een in Leiden gepromoveerde arts, verbonden aan het Biologisch Laboratorium van de N.V. Pharmaceutische Producten Maatschappij Philips - van Houten te Leiden) de isolatie van 'a naturally occuring chicken provitamin-D' mee.[10] Een aantal jaren later lukten het de Amsterdamse chemicus Jozef Ferdinand Arens (*1914), die in 1941 bij Wibaut was gepromoveerd en in 1948 hoogleraar chemie aan de Technische Hogeschool te Bandoeng zou worden, en de Amsterdamse farmacoloog David Adriaan van Dorp (1915-1995) van het laboratorium van Organon te Oss de synthese van vitamine A (1949).[11]

Er zijn meer voorbeelden te geven van de isolering door chemici van een door biologen vastgestelde aanwezigheid van werkzame stoffen. Zo had de militaire apotheker Maurits Greshoff (1862-1909) in 1890 een giftig alkaloïde, het hypaphorine, uit de zaden van Erythrina Hypaphorus Boerl., een schaduwplant in de koffietuinen op Oost-Java, geïsoleerd. Van Romburg had tijdens zijn verblijf in Indië de formule van deze verbinding reeds vastgesteld en wist in 1911 met de Britse scheikundige George Barger de stof te identificeren als het trimethylbetaïne van tryptofaan.

De biochemie in het begin van deze eeuw beperkte zich niet tot alleen de universitaire laboratoria. Sinds 1885 bezat de N.V. Gist- en Spiritusfabriek in Delft een researchlaboratorium, dat onder leiding stond van de microbioloog Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) en waar enzymologisch onderzoek werd verricht. Beijerinck

was na zijn studie voor scheikundig technoloog in Delft en biologie in Leiden door de directeur van de Gist- en Spiritusfabriek J.C. van Marken in dienst genomen.[12] Voor hem werd een bacteriologisch laboratorium ingericht. In 1895 werd Beijerinck hoogleraar in de microbiologie op een nieuw ingestelde leerstoel aan de Polytechnische School. Bij het ontbreken van een faculteit biologie, werd de leerstoel ondergebracht in de faculteit chemische technologie. Het onderzoek op de Gist- en Spiritusfabriek werd voortgezet door een leerling van Van 't Hoff, Hendrik Pieter Barendrecht (1871-1942). In dezelfde tijd was Henri ter Meulen (1871-1942) na het behalen van zijn diploma scheikundig ingenieur aan de Polytechnische School enige tijd werkzaam (van 1895-1899) op het laboratorium van de Gist- en Spiritusfabriek. Hij keerde daarna als assistent van Hoogewerff terug naar de Polytechnische School, waar hij vanaf 1900 vooral biochemische onderzoekingen verrichtte. Ter Meulen onderzocht de werking van enzymen op glucosiden (als indicaan en mosterdglucosiden) en de aard van de suikers daarin (1905).

De hoofdfiguren van de Nederlandse biochemie in het begin van deze eeuw waren de hoogleraren Hamburger, Pekelharing en Beijerinck, die zich bezighielden met de humane (patho-)fysiologie en microbiologie. Bijdragen van biologen (planten- en dierfysiologen) en van chemici aan de biochemie ontbraken. Wat de laatste categorie wetenschappers betrof, er was aanvankelijk weinig of geen belangstelling onder scheikundigen voor biologische problemen. Hun interesse ging vooral uit naar de nieuwe fysische chemie en naar het onderzoek van substitutiereacties in de organische chemie. De eerste afzonderlijke leerstoelen in de fysiologische chemie in ons land waren dan ook in de medische faculteiten, de eerste in 1888 in Utrecht (Pekelharing). Pas in 1928 volgde de Universiteit van Amsterdam (Jansen), terwijl in Leiden een jaar daarvoor een leerstoel ‘medische chemie’ was ingesteld (Bungenberg de Jong). Tenslotte volgde Groningen in 1938 (Brinkman). Met uitzondering van de medicus Robert Brinkman (1894-1994) waren toen alle bezetters van deze leerstoelen chemici. Toen de medicus Pekelharing in 1918 met emeritaat ging, werd hij opgevolgd door de chemicus Wilhelm Eduard Ringer (1874-1953), een promovendus en assistent van Bakhuis Roozeboom. In de jaren 1907-1908 had Ringer als chemicus aan het Rijksinstituut voor het Onderzoek der Zee, waaraan hij sinds 1903 was verbonden, een onderzoek verricht over de waterstofionenconcentratie van zeewater met behulp van een waterstofelektrode. Pekelharing zag in dat hij deze methode bij het onderzoek van lichaamsvloeistoffen kon toepassen, waar dikwijls van kleine pH-verschillen sprake was. Hij wist Ringer als zijn assistent naar Utrecht te laten komen (1908).

Als Utrechts hoogleraar (1918-1944) zette Ringer het onderzoek van Pekelharing over proteolytische enzymen voort. Beïnvloed door het Utrechtse colloïdchemische onderzoek, onderzocht hij de invloed van elektrolyten op enzymen en andere lichaamsbestanddelen.[13] Op zijn beurt werd Ringer opgevolgd door Hendrik Gerrit Koob Westenbrink (1901-1964), eveneens een chemicus die op 5 oktober 1926 bij Jaeger in Groningen gepromoveerd was op een *Röntgen-spectrographisch onderzoek van de rhombische en monokliene vitriolen en van hun mengkristallen*. Vóór zijn benoeming in Utrecht (1946) was Westenbrink privaatdocent en conservator bij Jansen in Amsterdam. Zijn onderzoek betrof vooral de fysiologische functie van het thiamine en de biosynthese en de afbraak van het thiaminepyrofosfaat, de co-factor voor het pyruvaat-carboxylase-enzym van gist.

In het interbellum lag de nadruk van het biochemisch onderzoek aan de medische faculteiten behalve op de voedingsleer op de chemische endocrinologie.[14] Het centrum van de activiteiten op dit gebied lag op het Pharmaco-Therapeutische Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam, dat op 1 november 1923 in gebruik was genomen. Hier werkte de Silezische medicus Ernst Lacqueur (1880-1947), voormalig assistent van Hartog Jacob Hamburger in Groningen, waar hij in 1914 een lectoraat in de algemene fysiologie had gekregen. In oktober 1920 was hij benoemd als eerste hoogleraar in de farmacologie in Amsterdam.[15] Zijn doel was het testen van nieuwe stoffen op hun geneeskundige werking, waarvoor hij vooral hormonen koos. Zijn medewerkers waren chemici en farmacologen. Chemici (Elizabeth Dingemanse, 1886-1952 en Károly Gyula David, 1905-1945) hielden zich bezig met de zuivering en identificatie van stoffen met hormoonwerking; farmacologen (Samuel Elzevier de Jongh, 1898-1976, van 1935-1963 hoogleraar farmacologie te Leiden, en János Freud, 1901-1948) onderzochten de fysiologische en de farmacologische werking. Belangrijk was de intensieve samenwerking met de in 1923 opgerichte farmaceutische firma 'Naamlooze Vennootschap Organon tot bereiding van orgaanpreparaten op wetenschappelijke grondslag'. Oprichters waren Salomon van Zwanenberg (1889-1974; directeur van Zwanenberg's Slachterijen en Fabrieken te Oss), Jacques van Oss (1875-1961; een gepromoveerd wiskundige, vriend en raadgever van Zwanenberg) en Lacqueur, die tevens de eerste raad van bestuur vormden.[16]

In 1923 had Lacqueur van de universiteit van Toronto licentie verkregen voor de bereiding van insuline, dat in 1921 door de Canadese onderzoekers Frederik Grant Banting en Charles Herbert Best in pancreasextract was aangetoond. In zijn laboratorium bouwde Lacqueur een klein fabriekje, terwijl Organon de eerste commerciële productie op het vasteland van Europa voor zijn rekening nam. In 1923 werd de medicus De Jongh in dienst genomen voor het biologisch ijken op konijnen en de chemica Dingemanse voor de zuivering van het geproduceerde insuline. Het was het begin van de groei van Organon tot een bedrijf dat zich met succes bezighoudt met het ontdekken en vervaardigen van geneesmiddelen.

In 1925 wist Lacqueur uit follikelvocht en uit urine van zwangere vrouwen oestrogeenextract te verkrijgen, dat hij menformon noemde (later oestron genoemd). Tien jaar later, in 1935, verkreeg zijn medewerker David het eerste testosteron uit de testes van stieren en bepaalde de structuur van dit mannelijke hormoon.

Tussen de beide wereldoorlogen ontwikkelde de klassieke fysiologische chemie zich tot de 'moderne' biochemie. In de eerste had men zich vooral op de fysiologie van de mens gericht en het onderzoek beperkt tot het niveau van de organen en de studie van reactieprodukten; nu betrok men ook lagere dieren, planten en micro-organismen en uiteindelijk celvrije systemen in het onderzoek. Voor de kennis van grensvlakverschijnselen zijn vooral de onderzoekingen van de Amerikaanse fysico-chemici Irving Langmuir en William Draper Harkins van belang (1917). Al in 1919 schreef Regnerus Tjaarda Alting Mees, in 1916 in Utrecht bij Ernst Cohen gepromoveerd en als chemicus in dienst van het laboratorium van Jurgens' Oliefabrieken in Zwijndrecht, over de 'beteekenis van Langmuir's en Harkin's theorie van de oriëntatie der moleculen in oppervlakken van vloeistoffen'.[17] Uit het gedrag van oppervlaktelagen van vetzuren, vetten, e.d. zijn waardevolle conclusies te trekken over de grootte, de vorm

en het kinetisch gedrag van de moleculen in deze lagen. De Leidse hoogleraar in de kindergeneeskunde Evert Gorter (1881-1954) zag direct in hoe belangrijk de onderzoekingen van Langmuir over de uitbreiding van vetzuren in monomoleculaire lagen zijn voor het begrip levend organisme, omdat daar georiënteerde molecuullagen een zeer grote rol spelen. Na zijn benoeming in Leiden (1923) deed hij naast onderzoekingen op het gebied van de kindergeneeskunde onderzoekingen over monomoleculaire lagen. Er waren al verschillende pogingen gedaan om laagjes lyofiele solen op vloeistoffen te krijgen. Dit lukte Gorter met de Haagse apotheker François Grendel (1897-1969) met eiwitoplossingen. Gorter en Grendel vonden dat een reeks eiwitten (hemoglobine, caseïne, serumproteïne) zich op aangezuurde waterige oplossingen tot dunne lagen uitbreiden. Er wordt een monomoleculaire spreiding verkregen zelfs als van colloïdale waterige oplossingen van eiwitten gebruik werd gemaakt. Hun onderzoekingen gaven het onderzoek op het gebied van de eiwitchemie een geheel nieuwe richting. Op 28 februari 1927 promoveerde Grendel in Utrecht tot doctor in de wisen natuurkunde met het proefschrift *Over de spreiding van Vetzuren, Vetten en Eiwitten*.[18] Promotor was de farmacoloog Willem Cornelis de Graaff (1877-1944). In het voorwoord schreef Grendel: ‘Hoogeleerde Gorter, al zal Uw bescheidenheid er geen prijs op stellen, toch wil ik U hier danken, dat Gij mij als conservator bij de Kinderkliniek zoo ruimschoots de gelegenheid hebt gegeven dit proefschrift te bewerken’.

Het Nederlandse biochemische onderzoek buiten de medische faculteiten werd vanuit verschillende disciplines verricht: de Utrechtse hoogleraren Hermann Jacques Jordan (1877-1943; van 1919-1943 hoogleraar in de vergelijkende dierfysiologie) en Bouwe Sjollema (1868-1962; van 1925-1938 hoogleraar in de medisch-veterinaire chemie) vanuit de dierkunde en Albert Jan Kluyver (1888-1956; van 1921-1956 als opvolger van Beijerinck hoogleraar in Delft) vanuit de microbiologie. Jordan was bioloog, Sjollema farmaceut, Kluyver chemicus. De laatste had van 1905-1910 chemische technologie in Delft gestudeerd en was op 15 mei 1914 bij Gerrit van Iterson jr. (1878-1972), hoogleraar in de microscopische anatomie te Delft[19], gepromoveerd op *Biochemische suikerbepalingen*.[20] Met een dergelijke achtergrond is het niet vreemd dat hij zijn onderzoek vooral richtte op chemische activiteiten van micro-organismen. Kluyver zocht naar eenheid in de grote verscheidenheid van de levensverrichtingen van de talloze soorten van micro-organismen. Hij veronderstelde dat vrijwel alle biochemische processen gekenmerkt worden door een katalytische overdracht van waterstof. Op 24 april 1924 sprak hij op de Algemene Vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging over de ‘eenheid en verscheidenheid in de stofwisseling der microben’[21]; in 1926 schreef hij met zijn promovendus Hendrik Jean Louis Donker (1899-1979)[22] over *Die Einheit in der Biochemie* (1926): in cellen van uiteenlopende aard verlopen de chemische processen volgens een beperkt aantal relatief eenvoudige prototypen.[23] Hij meende dan ook dat uit experimenten met de gemakkelijk hanteerbare micro-organismen gevolgtrekkingen getrokken kunnen worden die een algemene geldigheid voor het levende organisme bezitten.

In zijn voordracht uit 1924 wees Kluyver erop dat de gevonden specialisatie onder de micro-organismen er toe heeft geleid dat het ‘streven tot demonstratie dezer verscheidenheid het onderzoek in hooge mate heeft beheerscht’.[24] Maar er heeft zich geleidelijk nog een andere studierichting ontwikkeld ‘die in de verscheidenheid der

verschijnselen naar de eenheid zocht'. Naar Kluyvers mening zou het onderzoek daarvan onmisbaar zijn om de microbiologie van een in hoofdzaak beschrijvende tak van wetenschap 'tot een hooger plan op te heffen', waarbij naar zijn vaste overtuiging 'slechts nauwe samenwerking tusschen microbiologen en pur-sang chemici in deze vooruitgang kunnen brengen'.[25] In 1929 hield Kluyver een drietal voordrachten over 'de grondslagen der biochemie', welke georganiseerd waren door de secties voor biologie en natuurkunde van het Genootschap ter bevordering van Natuur-, Genees- en Heelkunde in samenwerking met de Natuurphilosophische Faculteit der Amsterdamsche Studenten. De voordrachten werden uitgesproken in de collegezaal van het scheikundig laboratorium voor vijfentwintig genootschapsleden en meer dan honderd studenten. Twee jaar later, in 1931, publiceerde Kluyver zijn invloedrijke boek *The chemical activities of micro-organisms*.

Dat het biochemisch onderzoek vanuit verschillende disciplines werd verricht, blijkt ook uit de achtergrond van de oprichters van de 'Nederlandsche Vereeniging voor Biochemie' op 15 oktober 1927 in Leiden. Het was een divers gezelschap. Allereerst drie microbiologen met een chemische opleiding: de Delftse hoogleraar Albert Jan Kluyver; de privaatdocent aan het laboratorium voor de gezondheidsleer van de Universiteit van Amsterdam en latere hoogleraar in de microbiologie (1936) aan de Landbouwhogeschool in Wageningen Jan Smit (1885-1957)[26] en de Wageningse hoogleraar Nicolaas Louis Söhngen (1878-1934). Evenals de meeste niet-medische microbiologen in ons land uit de eerste decennia van deze eeuw, hadden ook Smit en Söhngen hun opleiding tot microbioloog bij Beijerinck in Delft gekregen. Voorts een drietal medici: Evert Gorter, Albert Abraham Hijmans van den Bergh (1869-1943), hoogleraar inwendige geneeskunde in Utrecht en Nathaniel Waterman (1883-1961), bioloog aan het Nederlands Kanker Instituut. Dan vinden we de colloïdchemicus Hendrik Gerard Bungenberg de Jong (1893-1977), de fysiologisch-chemicus Ringer, de dierfysioloog Jordan, de medisch-veterinair chemicus Bouwe Sjollema en de plantenfysioloog en farmacognost Theodorus Weevers (1875-1952), hoogleraar in Amsterdam. Een organisch-chemicus ontbrak! Chemici waren trouwens toch niet erg enthousiast over de oprichting van een biochemische vereniging. Een aantal op de oprichtingsvergadering aanwezige chemici vond dat er geen afzonderlijke vereniging moest worden opgericht, maar dat een sectie van de Nederlandsche Chemische Vereeniging voldoende was. Het probleem waren de rechten van niet-leden van de chemische vereniging in een dergelijke sectie. De NCV was bereid zijn huishoudelijk reglement zodanig aan te passen dat ook niet-chemische leden volwaardige leden van de sectie konden zijn zonder lid van de vereniging te worden. Uiteindelijk kwam er toch een zelfstandige biochemische vereniging met als eerste bestuur Sjollema (voorzitter), Brinkman (secretaris-penningmeester), Jordan en Kluyver, terwijl Verkade als gedelegeerde van het bestuur van de NCV werd benoemd. In zijn rede bij de opening van de eerste wetenschappelijke vergadering van de Nederlandsche Vereeniging voor Biochemie op 4 februari 1928 wees Sjollema, die ervan overtuigd was dat de natuurwetenschap in staat is 'het leven' te verklaren, op de gunstige wisselwerking tussen de chemisch en de biologisch opgeleide biochemici. 'Men vergete [...] niet dat de zuiver chemisch gevormden in 't algemeen niet gemakkelijk het biologisch denken zich geheel eigen maken; omgekeerd is van den bioloog niet te ver-

wachten, dat hij de chemische zijde der vraagstukken altijd scherp en juist zal zien'.[27]

Het bovenstaande wekt de suggestie dat er in het interbellum geen belangstelling van de kant van organisch-chemici was voor biochemische vraagstukken. Maar in Utrecht hielden - zoals we in het vorige hoofdstuk zagen - Leopold Ruzicka en diens opvolger Fritz Kögl zich bezig met de chemie van natuurstoffen. Het onderzoek van Kögl bevond zich op het grensvlak van scheikunde en biologie. Vanaf het begin van de jaren vijftig doceerde hij ook de biochemie.

In Rotterdam en Delft verrichtte Pieter Eduard Verkade vanaf 1916 syntheses van triglyceriden en fosfolipiden en bestudeerde tussen 1930 en 1938 met de Rotterdamse internist Mozes Elzas de omzetting van deze verbindingen, hetgeen leidde tot de ontdekking van de ω-oxidatie. Maar in het algemeen bleef tot na de Tweede Wereldoorlog het biochemisch onderzoek aan de universiteiten in hoofdzaak beperkt tot de medische faculteiten. Pas in 1953 werden de eerste hoogleraren in de biochemie aan de faculteiten voor wis- en natuurkunde benoemd: Wouter Berends (*1914) in 1953 in Delft, Haaye Veldstra (1907-1997) in hetzelfde jaar in Leiden, Max Gruber (1921-1990) in 1956 in Groningen en Laurentius Lambertus Marie van Deenen (1928-1994) in 1961 in Utrecht. Op Gruber, die bij Westenbrink was gepromoveerd, na waren het allemaal leerlingen van Kögl.[28] In Delft werd André Gerard van Veen (1903-1986), die in 1928 bij Ruzicka in Utrecht was gepromoveerd op een *Bijdrage tot de kennis van de monocyclische sesquiterpenen*, in 1948 hoogleraar in de theoretische en de toegepaste biochemie. Van Veen was eind 1929 als natuurwetenschappelijk technisch ambtenaar naar Indië gegaan om de vacature van B.C.P. Jansen op de chemische afdeling van het Geneeskundig Laboratorium te Batavia te vervullen. In 1941 werd hij benoemd tot hoogleraar in de organische chemie aan de Geneeskundige Hogeschool te Batavia en wat later ook aan de Landbouwkundige Faculteit. De Utrechtse hoogleraar Laurens van Deenen, de laatste promovendus van Kögl (1971), was een van de grondleggers van het moderne membraan- en lipide-onderzoek.

Eindnoten:

1 Over G.J. Mulder: H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993), pp. 93-108
2 Voor dit hoofdstuk is dankbaar gebruik gemaakt van: H. Beukers, M. Gruber en R. Matthijsen, 'A retrospective look at biochemistry in The Netherlands', *Trends in Biochemical Sciences* 10(1985)327-330 en *Nederlandse Vereniging voor Biochemie: De eerste 60 jaar* (Utrecht, 1987)
3 B.C.P. Jansen, *Het levenswerk van Christiaan Eykman 1858-1930* (Haarlem, 1959)
4 Over Jansen: H.G.K. Westenbrink, *Chemisch Weekblad* 34(1937)471-484; C. den Hertog, *idem* 58(1962)609-610
5 Over Donath: J. Ruttink. *Chemisch Weekblad* 53(1957)449-454
6 *Chemisch Weekblad* 22(1925)353-356 en 575
7 B.C.P. Jansen en W.F. Donath, *Chemisch Weekblad* 23(1926)201-203
8 B.C.P. Jansen en W.F. Donath, 'Over de isoleering van het anti-beriberi-vitamine', *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 35(1926)923-934 en 'On the isolation of the anti-beriberi Vitamin', *Proceedings of the section of science. Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 29(1926)1390-1400
9 E.H. Reerink, 'Ergosterine en vitamine-D', *Chemisch Weekblad* 26(1929)179; E.H. Reerink en A. van Wijk, 'Photochemische reacties van ergosterine', *idem* 26(1929)246; E.H. Reerink, 'Nieuwe onderzoekingen over vitamine-D', *idem* 29(1932)311 en E.H. Reerink, A. van Wijk en J. van Niekerk, 'Physische methoden bij het vitamine-onderzoek', *idem* 29(1932)645-650. Reerink was op 16 december 1924 in Leiden bij Schreinemakers gepromoveerd *Over gasreacties*; Van Wijk

op 28 januari 1929 in Utrecht bij Ornstein op de *Invloed van magneetveld, zwermen en wand op de kristaloptische eigenschappen van vloeibaar-kristallijn p-azoxyanisol*.

10 *Proceedings of the section science. Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 39(1936)622-632. A.G. Boer was op 10 december 1934 in Utrecht bij Kögl gepromoveerd op *Ferezon, het chinon van radix pereziae*.

11 J.F. Arens en D.A. van Dorp, 'Synthesis of some compounds possessing vitamin A activity', *Nature* 157(1946)190-191; D.A. van Dorp en J.F. Arens, 'The synthesis of "vitamin A acid", a biologically active substance', *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 65(1946)338-345; J.F. Arens en D.A. van Dorp, 'Synthesis of vitamin A', *idem* 68(1949)604-608. J.F. Arens promoveerde op 11 juni 1941 bij Wibaut op *De inwerking van zuuranhydriden op pyridine in tegenwoordigheid van reductiemiddelen*; D.A. van Dorp op 9 juli 1941 bij Jansen op *Aneurine en gistfosfatase*. Vgl.: D.A. van Dorp, 'My Years in Lipid Research', *Journal of the American Oil Chemists' Society* 60(1983)1645-1648

12 G. van Iterson jr., L.E. den Dooren de Jong en A.J. Kluyver, *Martinus Willem Beijerinck. His life and his work* ('s-Gravenhage, 1940); B. Theunissen, 'Het nut van autonomie. Een andere kijk op M.W. Beijerincks microbiologie', *Gewina. Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 17(1994)191-205; 'Martinus Willem Beijerinck and the beginnings of the Delft tradition in microbiology', in *Beijerinck and the Delft school of microbiology*. Ed. P. Bos en B. Theunissen (Delft, 1995), pp. 183-192 en 'The beginnings of the 'Delft tradition' revisited: Martinus W. Beijerinck and the genetics of microorganisms', *Journal of the History of Biology* 29(1996)197-228

13 Over Ringer: H.G.K. Westenbrink, *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 97(1953)3222-3223; W.P. Jorissen, *Chemisch Weekblad* 50(1954)265-271

14 A. de Knecht - van Eekelen, *Hoofdlijnen van het endocrinologisch onderzoek in Nederland na 1947* (Rotterdam, 1993)

15 E. Dingemanse, *Chemisch Weekblad* 43(1947)591-592

16 M. Tausk, *Organon. De geschiedenis van een bijzondere Nederlandse onderneming* (Nijmegen, 1978); W. Wennekens, *De aartsvaders. Grondleggers van het Nederlandse bedrijfsleven* (Amsterdam, Antwerpen, 1993), pp. 479-500

17 R.T. Alting Mees, *Chemisch Weekblad* 16(1919)823-832. Vgl.: H.R. Kruyt, 'De theorie van Langmuir en Harkins en haar beteekenis voor de natuurwetenschap', *idem* 20(1923)642-648

18 E. Gorter en F. Grendel, 'De spreiding van oxy-haemoglobine', *Verslag van de gewone vergaderingen der wis- en natuurkundige afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 34(1925)1257-1269 en 'On the spreading of proteins', *Transactions of the Faraday Society* 22(1926)477-483. Zie ook: F. Grendel, 'Eiwitvliezen van moleculaire dikte', *Chemisch Weekblad* 24(1927)603 en E. Gorter, 'Enkele toepassingen van de spreidingsmethode', *idem* 25(1928)184

19 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 29(1932)542-552

20 Over Kluyver: G. van Iterson Jr., C.B. van Niel, T.Y. Kingma Boltjes en L.H.C. Perquin, *Chemisch Weekblad* 36(1939)307-323; Kingma Boltjes, *idem* 52(1956)661-665; *Albert Jan kluyver. His life and work*. Ed. A.F. Kamp, J.W. la Rivière en W. Verhoeven (Amsterdam, 1959) en O. Amsterdamska, 'Beneficent microbes: the Delft school of microbiology and its industrial connections', in *Beijerinck and the Delft school of microbiology* (Delft, 1995), pp. 193-213

21 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 21(1924)266-277

22 Donker promoveerde op 4 juni 1926 bij Kluyver op een *Bijdrage tot de kennis der boterzuur-, butylalcohol- en acetongistingen*.

23 A.J. Kluyver en H.J.L. Donker, *Chemie der Zelle und Gewebe* 13(1926)134-190

24 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 21(1924)269

25 A.J. Kluyver, *Chemisch Weekblad* 21(1924)270

26 Over Jan Smit: H. Gerding en E.G. Mulder, *Chemisch Weekblad* 52(1956)729-735; E.G. Mulder, *idem* 53(1957)405-406

27 B. Sjollema, *Chemisch Weekblad* 25(1928)146-152 (146). Over Sjollema: *idem* 35(1938)448-474

28 W. Berends studeerde in Utrecht bij Kögl (1933-1939), maar promoveerde niet; H. Veldstra promoveerde op 4 november 1935 bij Kögl *Over muscarine. Onderzoek naar de structuur door synthese*; M. Gruber op 16 juni 1952 bij Westenbrink over *Thiamine deficiëntie en koolhydraatstofwisseling* en L.L.M. van Deenen op 8 april 1957 bij Kögl op *Enige onderzoekingen over de biochemische relaties tussen hypophyse en schildklier*.

VIII. Analytische chemie

'De vooruitgang van de physische chemie heeft sommige afdeelingen der scheikunde geheel van karakter veranderd. De tijd ligt niet ver achter ons, dat de analytische chemie tot het dorste gedeelte der scheikunde behoorde: de meeste chemici hebben door den taaien rijst- en breiberg van kaasachtige, krystallyne en vlokkige praecipitaten heen moeten bijten, voordat zij in 't luilekkerland der praeparatieve chemie aankwamen.... Wat is dat anders geworden, nu om elken neerslag een schat van theoretische beschouwingen is geweven!', aldus Jacob Böeseken in 1906.[1]

De analytische chemie als wetenschappelijke discipline stamt pas uit het einde van de vorige eeuw. Het waren de wetten van de verdunde oplossingen van Van 't Hoff en de theorie van de elektrolytische dissociatie van Arrhenius, die de fysico-chemicus Wilhelm Ostwald, van 1887 tot 1905 hoogleraar in Leipzig, in staat stelde zijn klassiek boek *Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytische Chemie. Elementar dargestellt* (1894) te schrijven. Met dit boek veranderde de status van de analytische scheikunde. De toename vanaf de zestiende eeuw van methoden voor het herkennen en scheiden van stoffen, had de analytische chemie steeds meer gemaakt tot 'een opsomming van recepten, volgens welke men in de handelsproducten de aanwezigheid van bepaalde stoffen kon opsporen', aldus Scheffer bij de aanvaarding van het hoogleraarschap in de analytische scheikunde aan de Technische Hogeschool in Delft op 16 november 1917.[2] Juist door deze droge opsomming van feiten nam de analytische chemie een zeer bescheiden plaats in tussen de andere onderdelen van de scheikunde. 'Men beschouwde de verhouding van dit onderdeel tot de andere als die van een dienstmeisje tegenover haar meerderen'. Als wetenschappelijk vak telde de analytische chemie dan ook niet mee. 'Gelukkig is dit sinds een kwart eeuw geheel veranderd', aldus Scheffer.

Op de beoefening van de analytische chemie in ons land heeft vooral Cornelis Johannes van Nieuwenburg (1889-1985) grote invloed uitgeoefend.[3] Bij zijn afscheid als hoogleraar in 1960 schreef zijn 1928 bij hem gepromoveerde leerling Honoré Alphonse Joseph Pieters (1896-1973), chef van het Centraal Laboratorium van de Staatsmijnen en sinds 1948 chef van de veiligheidsdienst van de chemische bedrijven van de Staatsmijnen: 'Als analyticus pur sang heeft van Nieuwenburg de moderne ontwikkeling van de analytische chemie voorzien en daar een belangrijk aandeel in gehad. Zowel de snel groeiende instrumentele techniek als de micro- en semimicromethodes vonden in hem een toegewijd voorvechter. Zijn leerboek heeft ten onzent doorslaggevend bijgedragen tot de invoering van een moderne kwalitatieve analyse. In zijn tijd heeft de kwantitatieve analyse een volledig ander karakter gekregen en in later jaren heeft van Nieuwenburg het onderwijs in de microchemie op voortreffelijke wijze georganiseerd en tot nieuw leven gebracht'.[4]

Cornelis Johannes van Nieuwenburg (1889-1985)

C.J. van Nieuwenburg studeerde, na de hogereburgerschool in 's-Hertogenbosch en 's-Gravenhage te hebben doorlopen, scheikundige technologie in Delft. In 1911 behaalde hij het diploma van scheikundig ingenieur en op 16 oktober 1914 promoveerde hij bij W. Reinders op het proefschrift *De stabiliteit der mercurohalogeniden*. Van 1920 tot aan zijn emeritaat in 1960 was hij hoogleraar in de analytische chemie en silicaatchemie (vanaf 1949 in de microanalyse) aan de Technische Hogeschool te Delft. Hij overleed op 95-jarige leeftijd.

Van Nieuwenburg was een analyticus pur sang, die een belangrijk aandeel heeft gehad in de ontwikkeling van de moderne systematische kwalitatieve en kwantitatieve micro- en semimicro-analyse. Onder zijn leerlingen bevindt zich onder andere Egbert van Dalen (1902-1982), die na in Groningen scheikunde te hebben gestudeerd (1928) hoofdassistent bij Van Nieuwenburg werd, tot hij naar de Vrije Universiteit ging: eerst als conservator van het scheikundig laboratorium (1932), later als privaatdocent (1934), lector (1938) en hoogleraar (1951) in de analytische chemie. In 1933 was hij bij Van Nieuwenburg gepromoveerd op het proefschrift *Oriënterende onderzoekingen over tandcementen*.

Van Nieuwenburg hield zich met zijn leerlingen vooral bezig met de ontwikkeling van de microanalyse, op welk gebied hij in 1934 internationale erkenning kreeg door zijn benoeming tot voorzitter van de *Commission Internationale des Réactions et Réactifs nouveaux* van de *Union Internationale de Chimie*. Vanaf 1931 publiceerde hij over 'systematische kwalitatieve analyse met behulp van vele nieuwe druppelreacties'.[5] Een van zijn leerlingen Gerritje Dulfer [later G. Henrar-Dulfer] promoveerde in 1935 op een proefschrift *Onderzoekingen over kwalitatieve analyse*: 'Het was een verzameling van alle proeven, die door mij gedurende vele jaren waren verricht, om de systematische kwalitatieve analyse met druppelreacties aan te passen aan een scheiding bij aanwezigheid van fosfaationen. Tevens werd een schema opgesteld voor de scheiding van de carbonaatgroep'.[6] Met dit schema hebben generaties studenten hun eerste schreden gezet op het pad van de analytische scheikunde. In 1933 had Van Nieuwenburg met mej. Dulfer het boek *A short manual of systematical qualitative analysis by means of modern drop reactions* gepubliceerd. In 1945 verscheen zijn *Kwalitatieve chemische analyse*, waarvan de derde (1951) en vierde (1956) druk samen met zijn medewerker Jacobus Willem Lambertus van Ligten (1896-1983) werden verzorgd. 'De directe aanleiding tot het ontstaan van dit leerboek is de aandrang geweest, die van verschillende zijden op mij is uitgeoefend, om de onder mijn leiding sinds jaren op het Laboratorium voor Analytische Scheikunde der Technische Hoogeschool te Delft ontwikkelde en gebezigde methodiek der kwalitatieve analyse in de Nederlandsche Taal op schrift te stellen', aldus Van Nieuwenburg in het voorwoord.[7] De grondslag van de methode was de scheiding met zwavel-waterstof. Hoewel talloze alternatieve scheidingsmethoden door Van Nieuwenburg waren onderzocht, bleef hij 'ongeschokt in [zijn] overtuiging, dat geen enkele daarvan de H_2S-methode in betrouwbaarheid evenaart'.[8]

Van Nieuwenburg richtte zijn onderwijs bewust op de kwalitatieve en later kwantitatieve analyse op semimicroschaal, waarvoor hij de modernste balansen aanschafte. Al in 1930 schreef hij een serie artikelen in het *Chemisch Weekblad* over 'alkalime-



XXII. Cornelis Johannes van Nieuwenburg (1889-1985), van 1920-1960 hoogleraar in de analytische scheikunde aan de Technische Hogeschool te Delft, had een belangrijkk aandeel in de ontwikkeling van de moderne systematische kwalitatieve en kwantitatieve micro- en semimicro-analyse.

trische itraties, indicatoren en titratiefouten'[9], 'een overzicht in druk [...] van deze materie ongeveer op de wijze, waarop ze in mijn colleges te Delft worden behandeld'[10], die zo duidelijk geschreven waren dat ze nog tal van jaren door vele studenten werden geraadpleegd.

In zijn afscheidscollege op 1 juli 1960 sprak Van Nieuwenburg over 'veertig jaar microanalyse, een terugblik'[11]. Hij wees erop dat de beoefening van de microanalyse sterk met Delft is verbonden. 'In Delft verrichtte Anthonie van Leeuwenhoek zijn onderzoekingen die in 1675 leidden tot zijn memorie aan de Royal Society te Londen, getiteld 'On the Figures of Salt', de eerste stap op weg naar de microscopische analyse, en het was ook weer in Delft dat deze tot een min of meer volledig systeem zou uitgroeien door het klassieke werk van Behrens in de jaren van 1885 tot 1900'.[12] De Technische Hogeschool te Delft was de eerste ter wereld die een afzonderlijke leerstoel voor microanalyse (dat toen microchemie werd genoemd) kreeg. Van Nieuwenburg wees op Pieter Dirk Cornelis Kley (1871-1935), die van 1905 tot 1934 hoogleraar in de microchemie en metallografie was en de lector Henri Gravestein (1884-1975), van 1922-1949 lector in de microchemie, die beiden het werk van Theodor Heinrich Behrens (1842-1905), die van 1875 tot zijn overlijden hoogleraar aan de Polytechnische School was, hadden voortgezet. In de afdeling mijnbouwkunde pasten Jacobus Lodewijk Conradus Schroeder van der Kolk (1865-1906), van 1898-1905 hoogleraar mineralogie en aardkunde, en Rudolf Willem van der Veen (1883-1925), van 1916-1925 hoogleraar ertskunde, de microscopische techniek toe op het onderzoek van mineralen en ertsen. Van Nieuwenburg zelf werd sterk beïnvloed door het werk over druppelreacties van Fritz Feigl, waar hij in 1927 onder diens persoonlijke leiding in Wenen kennis mee had gemaakt en die hij na zijn terugkeer in Delft geleidelijk als identiteitsreacties op het praktikum systematische kwalitatieve analyse invoerde.

Organische analyse

Toen Van Nieuwenburg in Delft tot hoogleraar werd benoemd doceerde daar sinds 1905 Henri ter Meulen (1871-1942) de analytische chemie en de scheikunde van de bouwstoffen.[13] Ook Ter Meulen had in Delft scheikundige technologie gestudeerd. In 1895 had hij het diploma voor scheikundig ingenieur aan de Polytechnische School behaald en was in 1899 assistent voor scheikunde bij Sebastiaan Hoogewerff geworden. Bij de reorganisatie van de Polytechnische School tot Technische Hogeschool in 1905 volgde Ter Meulens benoeming tot hoogleraar. Tot aan zijn emeritaat in 1936 bleef hij, net als Van Nieuwenburg, Delft trouw.

Ter Meulen nam het onderwijs in de analytische chemie van Hoogewerff over en maakte van de analytische chemie spoedig een afzonderlijke tak van het scheikundig onderwijs; in de eerste twee jaren van de studie voor scheikundig ingenieur en voor mijningenieur werd het praktisch chemisch onderwijs geheel gewijd aan de analytische chemie. In 1932 werden zijn verdiensten door de Universiteit van Amsterdam Geëerd met een doctoraat honoris causa.

Twee jaar eerder, in 1930, was hem de gouden Hoogewerff-penning toegekend wegens zijn uitnemend en baanbrekend werk op het gebied van de elementairanalyse.

Hij was erin geslaagd de sinds een eeuw gebruikte oxidatiemethode voor de organische elementairanalyse te vervangen door een katalytische reductiemethode. Onder gebruikmaking van de katalytische werking van een aantal metalen als platina en nikkel wist hij de te bepalen elementen kwantitatief om te zetten in de respectievelijke waterstofverbindingen, waarvan de hoeveelheden kwantitatief werden bepaald. Vanaf 1922 publiceerde hij daarover in het *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas*. Zijn eerste onderzoek ging over de kwantitatieve bepaling van zwavel als zwavelwaterstof (1922). Spoedig daarna lukte het hem kwantitatief zuurstof in organische verbindingen te bepalen (1922). In 1923 ontwikkelde hij met zijn promovendus Jacob Heslinga (1897-1966) de bepaling van de halogenen. Spoedig volgden de bepaling van stikstof (1924), van arseen en kwik (1926) en van cadmium (1929). In samenwerking met Heslinga vatte hij zijn methode samen in het boek *Nieuwe methoden voor elementairanalyse* (1925; tweede druk 1930), waarvan spoedig een Duitse en een Franse vertaling verschenen.

De door Ter Meulen ontwikkelde organische elementairanalyse was niet alleen minder omslachtig en minder tijdrovend dan de toen gebruikelijke, maar ook de nauwkeurigheid was veel hoger, terwijl voor de eerste maal in de geschiedenis van de scheikunde een volledige elementairanalyse kon worden verricht. De methode was ook van groot technisch belang. Zwavel kon in metaalertsen en in organische verbindingen als petroleum; stikstof en zwavel in moeilijk aantastbare materialen als cokes, voedingsmiddelen en meststoffen op eenvoudige wijze worden bepaald.

Ter Meulen stond zeer kritisch tegenover onvoldoende gefundeerde theorieën en vooral tegenover methoden die niet genoeg rekening hielden met het niveau van zijn studenten. Hij liet hen dan ook betrekkelijk eenvoudige kwantitatieve bepalingen, die door de praktijk als betrouwbaar waren erkend, uitvoeren om hun zo het zelfvertrouwen te geven dat hij nodig vond voor het welslagen van hun studie. Hij wijdde zich geheel aan het onderwijs in de analytische chemie. Onder zijn leiding werd een nieuw laboratorium voor analytische scheikunde gebouwd, dat hij op 3 oktober 1923 opende. Het aantal studerenden voor scheikundig ingenieur nam na de Eerste Wereldoorlog echter steeds meer toe, waardoor Ter Meulen steeds minder tijd kreeg voor eigen wetenschappelijk onderzoek. In 1917 werd Frans Eppo Cornelis Scheffer benoemd tot tweede hoogleraar in de analytische scheikunde, maar hij verwisselde deze leerstoel in 1920 voor die in de anorganische (fysische) chemie. Op 16 november 1917 aanvaardde hij zijn leerstoel met een rede over *De beteekenis van de physische chemie voor den analyticus*, waarin hij de conclusie trok: ‘Ik hoop, dat U uit het besprokene den indruk zult gekregen hebben, dat ik het nut van de physische chemie voor de analyse hoog aansla en dat ik de kennis daarvan voor de studie der analytische scheikunde onontbeerlijk acht’.[14] Zijn opvolger voor de analytische chemie werd Van Nieuwenburg.

De microanalyse voor de organische elementairanalyse danken we in de eerste plaats aan Fritz Pregl, hoogleraar aan de universiteit van Innsbruck, die in 1912 zijn methode voor de microbepalingen van koolstof, waterstof en stikstof voor het eerst publiceerde en ze in 1917 samenvatte in het boek *Die quantitative organische Mikroanalyse*. Het was Jan Václav Dubský (1882-1946), van 1922 tot zijn overlijden hoogleraar in de analytische chemie te Brno, die van 1909-1912 privé-assistent van A.P.N. Franchimont in Leiden en van 1919-1922 conservator en privaatdocent in de analyti-

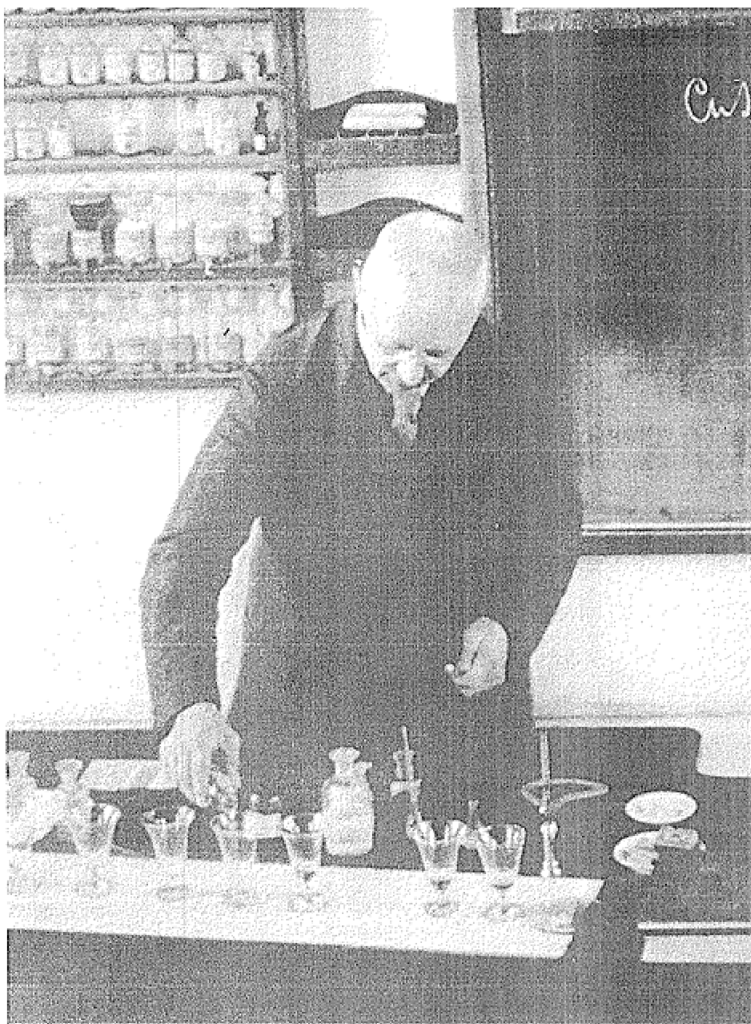
sche chemie te Groningen was, waar hij zijn vereenvoudidge semimicromethode voor de organische analyse. In Amsterdam was het Piet Hubers (1897-1966), die op dertienjarige leeftijd als leerjongen in dienst trad van het Organisch Chemisch Laboratorium van de universiteit, zich in de loop der jaren op wist te werken tot wetenschappelijk ambtenaar en zich na 1925 bij Wibaut geheel toelegde op het uitvoeren van de organische microanalyse volgens Pregl.[15]

Nicolaas Schoorl (1872-1942)

De beoefening van de organische analyse in ons land is vooral veel dank verschuldigd aan Schoorl, die al in 1899 zijn eerste wetenschappelijke bijdrage over de titratie van suikers door middel van Fehlings proefvocht gaf, in 1900 gevolgd door een verhandeling over de scheikunde en identificatie van de meest voorkomende organische zuren.

Nicolaas Schoorl (1872-1942) had farmacie in Amsterdam gestudeerd (1889-1893), was in 1893 bevorderd tot apotheker en vervolgens assistent geworden voor farmaceutische chemie. Van 1896 tot 1901 studeerde hij scheikunde en promoveerde op 23 oktober 1901 bij C.A. Lobry de Bruyn op het proefschrift *Verbindingen van suikers met urea*.[16] In 1902 werd Schoorl lector in de farmaceutische en praktische chemie en de microchemie en op 1 april 1908 buitengewoon hoogleraar in de farmaceutische en analytische chemie, de microchemie en de toxicologie aan de Universiteit van Amsterdam. Maar al in september van dat jaar volgde zijn benoeming tot hoogleraar in de artsenijbereidkunde, de toxicologie, de analytische chemie en microchemie en levensmiddelenleer aan de Universiteit Utrecht als opvolger van Hendrik Wefers Bettink (1839-1921). In de maanden maart en april 1942, enige weken voor zijn overlijden, schreef hij een artikel: ‘Het belangrijkste wetenschappelijke werk van N. Schoorl, beschreven door hemzelf’, dat een zakelijk overzicht geeft van zijn bijdragen tot de analytische chemie.[17] Schoorl deed dit ‘omdat hij meende anderen het werk te moeten besparen om moeizaam uit de talrijke publicaties een geheel samen te stellen, terwijl hij aan eene dorre opsomming van een groot aantal publicaties geen waarde hechtte. Hij deelde mij mede, dat hij gaarne dit overzicht gedrukt zag bij zijn necrologie’, aldus Dirk van Os (1889-1971), sinds 1925 hoogleraar in de farmacologie en toxicologie te Groningen.[18] In 1911 had Schoorl een praktische handleiding voor zijn farmaceutische studenten geschreven, *Organische analyse*, die in de loop der jaren uitgroeide tot een driedelig standaardwerk over dit onderwerp (1935-1941).

Schoorl hield zich ook intensief bezig met de microchemische reacties die door Behrens in de belangstelling waren komen te staan. Vanaf 1907 begon het probleem van de scheiding van de metalen vóór de uitvoering van microchemische reacties Schoorl te boeien. In zijn nieuwe laboratorium aan de Catharijnesingel in Utrecht, dat hij op 28 september 1915 had geopend, had hij het doorleiden van zwavelwaterstofgas afgeschaft en vervangen door inleiden, om zo sneller te kunnen werken en geen gas te laten ontsnappen. ‘Vervolgens heb ik mij bedacht op een ander systeem van metaalscheiding dan dat met zwavelwaterstof, want de verdere verwerking der neergeslagen sulfiden geeft toch altijd stank in het laboratorium, hetgeen vooral bij de microchemische analyse zeer hinderlijk is’.[19] Hij verving daartoe de gebruikelijke



XXIV. Nicolaas Schoorl (1872-1942), lector (1902) en hoogleraar (1908) farmaceutische en praktische scheikunde en microchemie te Amsterdam en hoogleraar (1908-1942) artsenijbereidkunde, toxicologie, analytische en microchemie en levensmiddelenleer te Utrecht. Vooraanstaand analyticus uit de eerste helft van deze eeuw.

scheiding van metalen met zwavelwaterstofgas door verdringing met aluminium. Het nieuwe systeem werd door hem op zijn laboratorium ingevoerd. In 1941 publiceerde hij hierover het boek *Qualitatieve analyse der metalen zonder toepassing van zwavelwaterstof (het 'Aluminium-Systeem')*.

Schoorl was een vooraanstaand analyticus, die in zijn werk zowel de wetenschappelijke zijde als de praktische toepassing beoefende. Een van zijn leerlingen was Izaak Maurits Kolthoff (1894-1993).[20] Deze had farmacie in Utrecht gestudeerd en was op 30 januari 1918 bij Schoorl gepromoveerd op het proefschrift *Grondslagen der jodometrische titreeranalyse*. Van 1917-1927 was hij conservator en van 1924-1927 privaatdocent in de toegepaste elektrochemie aan het farmaceutisch instituut te Utrecht, maar vertrok daarna naar de Verenigde Staten waar hij tot zijn emeritaat in 1962 hoogleraar en hoofd van de afdeling voor analytische chemie aan de universiteit van Minnesota was.

Toen Kolthoff in Utrecht ging studeren was de analytische chemie vooral een empirische kunst in plaats van een wetenschappelijke discipline en zo werd het aan de meeste universiteiten ook onderwezen. Schoorl echter had een sterke interesse in de wetenschappelijke benadering van het onderwerp, hetgeen Kolthoff sterk aantrok. In zijn Utrechtse periode hield deze zich vooral bezig met de theorie van de volumetrische titratiemethoden. In zijn *Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie* (1894) had Wihelm Ostwald de werking van kleurstofindicatoren verklaard door aan te nemen dat het zwakke zuren of basen zijn waarvan de ionen een andere kleur hebben dan de ongedissocieerde moleculen. Deze toen bevredigende verklaring van de eigenschappen van indicatoren en de beperkingen in hun gebruik werd in 1908 bekritiseerd door Arthur Rudolf Hantzsch, sinds 1903 hoogleraar in de organische chemie in Leipzig waar Ostwald hoogleraar in de fysische chemie was geweest. Hantzsch meende dat de kleurverandering van indicatoren het gevolg was van de aanwezigheid van een chinoïdegroep (chromofoortheorie). De kleuromslag is verbonden met structuurveranderingen, waarbij een ionogene vorm uit de pseudovorm ontstaat. De kleuren van de beide vormen zijn verschillend. Deze theorie bevredigde organici meer dan analytici, die met de theorie van Hantzsch niet in staat waren het proces kwantitatief te behandelen. Kolthoff bracht in zijn *Der Gebrauch von Farben-indicatoren. Ihre Anwendung in der Neutralisationsanalyse und bei der colorimetrischen Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration* (1921) de twee opvattingen met elkaar in overeenstemming: de kleur van de indicator wordt bepaald door het evenwicht tussen de pseudo- en de ionogene vorm, alsmede door het dissociatie-evenwicht van de laatste.

In zijn Utrechtse periode begon Kolthoff met het schrijven van leerboeken over de verschillende analytische technieken, die verschillende drukken beleefden en grote invloed uitgeoefend hebben op het onderwijs. Grote belangstelling had hij voor elektrometrische analysemethoden. Vanaf 1918 onderzocht Kolthoff de toepassingen van de elektrometrische geleidbaarheid voor eindpuntbepaling in titraties. In 1923 verscheen zijn *Konduktometrische Titrationen*, in 1927-1928 *Die Massanalyse*. Met Nathaniel Howell Furman schreef hij *Potentiometric Titrations: a theoretical and practical treatise* (1926). Na de ontdekking van de polarografie door Jaroslav Heyrovský (1935), schreef Kolthoff met James Joseph Lingane het boek *Polarography: polarographic analysis and voltammetry. Amperometric titrations* (1941), dat lange

tijd de voornaamste bron voor de systematische informatie over polarografie voor Engelstalige lezers was.

Kolthoff was sterk beïnvloed door Kruyt en had al vroeg belangstelling voor colloïdale verschijnselen en voor de scheikunde van oppervlakken. Toen hij in Minnesota kwam zette hij zijn onderzoekingen over coprecipitatie en adsorptie door neerslagen, waaraan hij in Utrecht was begonnen, voort. Ze waren van groot belang voor de praktijk van de gravimetrie en droegen belangrijk bij tot de kennis van de mechanismen die plaats vinden bij de vorming van microkristallijne neerslagen en bij de werking van adsorptieindicatoren.

Epiloog

In zijn herinneringen schreef Wilhelminus van Tongeren (1911-1997), die van 1929 tot 1938 scheikunde, geologie en mineralogie in Utrecht had gestudeerd en van 1949 tot 1981 hoogleraar in de analytische chemie aan de Universiteit van Amsterdam was, over de situatie van de analytische chemie in de eerste helft van de twintigste eeuw: ‘Bij de *universitaire* chemie-studie was feitelijk alleen in Delft sprake van analytische chemie als zelfstandig vak. Het werd gedoceerd door de hoogleraren Ter Meulen en Van Nieuwenburg aan het laboratorium voor Analytische Scheikunde, met een zekere mate van verdeling in organische en anorganische analyse. Voor de technologen en de mijnbouwers was er een uitvoerig practicum. Geheel anders was de situatie aan de universiteiten te Leiden, Groningen, Utrecht en beide te Amsterdam gevestigde instellingen, de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit. In het bijzonder voor de aanstaande chemici was de analyse verenigd met de anorganische chemie, welke laatste in Laboratoria voor Anorganische Scheikunde onwillekeurig op de voorgrond trad. Het analytisch practicum werd niet of nauwelijks voorbereid door een specifiek op de analyse-gericht theoretisch college; Kruyt spotte onbarmhartig: ‘Het soort analyses dat je zou kunnen maken na een ontploffing in een drogistenwinkel’, dus voor volkomen onrealistische situaties. En levendig herinner ik mij dan ook de grote indruk die Ostwald's werk “Die wissenschaftlichen Grundlagen der Analytischen Chemie” op me maakte toen ik daarop stuitte’.[21]

Alleen bij de farmaceuten vormde de analytische chemie, praktisch zowel als theoretisch, een onderdeel van het studieprogramma voor het doctoraalexamen. In Utrecht verzorgde Theodorus Strengers (1879-1951), die in 1907 bij Cohen was gepromoveerd, van 1910 tot 1947 als lector het onderwijs in de propedeutische en anorganische chemie. Hij was tevens directeur van het anorganisch en analytisch laboratorium, dat in een slechte behuizing aan de Biltstraat was ondergebracht. Strengers werd in 1948 opgevolgd door Jacobus Smittenberg (1905-1980) als hoogleraar propedeutische en analytische chemie. Smittenberg had in Delft gestudeerd en was op 29 oktober 1931 bij Scheffer gepromoveerd op *De invloed van temperatuur en druk op de adsorptie van waterstof door nikkel*. Hij was van 1934 tot 1948 als scheikundige verbonden aan het laboratorium van de Bataafsche Petroleum Maatschappij in Amsterdam. Bij zijn benoeming op de nieuwe leerstoel in Utrecht eiste hij de bouw van een nieuw laboratorium, maar pas in 1959 kon het Analytisch Chemisch Laboratorium aan de Croesestraat worden geopend.

Ook in Amsterdam ressorteerde het analytisch-chemisch praktikum voor chemici onder het anorganisch laboratorium met als lector (1919) en later hoogleraar (1946) Ernst Hendrik Büchner (1880-1967). Er was daar echter ook een afzonderlijk laboratorium voor analytische scheikunde dat onder leiding stond van Adriaan Hendrik Willem Aten sr. (1877-1950), die ook het laboratorium voor elektrochemie beheerde. Aten was sinds 1907 lector en sinds 1919 buitengewoon hoogleraar in de elektrochemie. In 1930 werd zijn leeropdracht, nadat Gerrit Hondius Boldingh (1865-1936) met emeritaat was gegaan[22], uitgebreid met analytische chemie; in 1941 volgde zijn benoeming tot gewoon hoogleraar en in 1948 ging hij met emeritaat. Aten heeft grote verdiensten voor de modernisering van het onderwijs aan de Universiteit van Amsterdam. In de analytische chemie schonk hij grote aandacht aan de theoretische grondslagen en aan nieuwe technieken als druppelreacties, spectroscopie, spectrografie, spectrofotometrie, polarografie, elektro-analyse en elektrochemische titraties.[23] Geo Dijkstra (*1923), die in 1962 benoemd werd tot hoogleraar spectrochemische analyse aan de Utrechtse Universiteit, constateerde in zijn memoires: 'In Nederland waren er analytische scholen in Delft (Van Nieuwenburg), Utrecht (Schoorl) en Amsterdam (Aten). De naoorlogse opbloei van vooral organisch-analytische methoden was vooral een zaak van de industriële researchlaboratoria, die over geld voor instrumenten en voor wetenschappelijke contacten beschikten. Na 1955 begonnen de universitaire laboratoria aan een inhaalrace, Amsterdam (Van Tongeren), Utrecht (Smittenberg) en Eindhoven (Keulemans, Cramers) voorop.' Maar, voegde hij hier aan toe: 'Terwijl de maatschappelijke invloed van de analytische chemie groot is, brokkelde in het universitaire bestel de invloed en omvang af [...]'.[24] Deze ontwikkeling ligt echter buiten het in dit boek behandelde tijdsbestek.

Dat ook buiten het universitaire milieu de analytische chemie belangrijke stimulansen heeft gekregen, blijkt bijvoorbeeld uit het werk van Johannes Hendrik van der Meulen (1884-1956), die zich geheel door zelfstudie tot een zeer nauwkeurig analyticus had ontwikkeld en eigenaar was van de Amsterdamsche Chemisch-Technische Industrie, een laboratorium voor chemisch-technisch speurwerk. Vanaf 1930 publiceerde hij in het *Chemisch Weekblad* een reeks 'Bromo-Jodometrische Onderzoekingen', die in de analytisch-chemische wereld zeer de aandacht trokken.[25]

Eindnoten:

1 J. Böeseken, *Ontwikkeling van enkele chemische problemen* (Groningen, 1906), p. 13
2 F.E.C. Scheffer, *De beteekenis van de physische chemie voor den analyticus* (Delft, 1917), p. 6
3 Over Van Nieuwenburg: G. Henrar-Dulfer, *Chemisch Weekblad* 50(1954)717-719; H.A.J. Pieters, J.W.L. van Ligten, *idem* 56(1960)385-389; H. Walraven, *idem* 81(1985), 22 augustus, p. 298
4 H.A.J. Pieters, *Chemisch Weekblad* 56(1960)385
5 C.J. van Nieuwenburg, *Chemisch Weekblad* 29(1932)114-119
6 G. Henrar-Dulfer, *Chemisch Weekblad* 50(1954)718
7 C.J. van Nieuwenburg, *Kwalitatieve chemische analyse* (Den Helder, 1945), p. 5
8 C.J. van Nieuwenburg, *Kwalitatieve chemische analyse*, p. 6
9 C.J. van Nieuwenburg, *Chemisch Weekblad* 27(1930)143-147, 158-159, 174-176, 186-188, 206-209
10 C.J. van Nieuwenburg, *Chemisch Weekblad* 27(1930)143

11 C.J. van Nieuwenburg, *Chemisch Weekblad* 56(1960)401-404
12 C.J. van Nieuwenburg, *Chemisch Weekblad* 56(1960)401
13 Over Ter Meulen: W.P. Jorissen, *Chemisch Weekblad* 27(1930)439-440; J. Böeseken, *idem* 33(1936)393-395, 38(1941)678-679, 39(1942)442 en *Jaarboek der Nederlandsche Akademie van Wetenschappen* 1942-1943, pp. 218-227; H.J. Ravenswaay, *Chemisch Weekblad* 38(1941)679
14 F.E.C. Scheffer, *De beteekenis van de physische chemie voor den analyticus* (Delft, 1917), p. 25
15 *Chemisch Weekblad* 47(1951)306; 57(1961)307,324; 62(1966)B 49
16 Over Schoorl: D. van Os, *Chemisch Weekblad* 39(1942)414-415; J.J.L. Zwikker, *Pharmaceutisch Weekblad* 79(1942)490-495
17 N. Schoorl, *Chemisch Weekblad* 39(1942)415-422
18 D. van Os, *Chemisch Weekblad* 39(1942)414. Dirk van Os promoveerde op 30 juni 1920 tot doctor in de artsenijbereidkunde aan de Universiteit van Amsterdam op een *Bijdrage tot de pharmacie van formaldehyde, hexamethyleentetramine en de daaruit bereide preparaten*. Promotor was P. van der Wielen.
19 N. Schoorl, *Chemisch Weekblad* 39(1942)419
20 Over Kolthoff: P.T. Shepherd, ‘An interview with I.M. Kolthoff’, *Trends in analytical chemistry* 1(1981)1-3; H.A. Laitinen, ‘The scientific career of Izaak Maurits Kolthoff’, *idem* 4-6; J.J. Lingane, ‘Izaak Maurits Kolthoff’, *Talanta* 4(1964)67-73
21 W. van Tongeren, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993), p. 157
22 Hondius Boldingh werd na het vertrek van Schoorl naar Utrecht in 1909 buitengewoon hoogleraar in de farmaceutische en analytische chemie, de microchemie en toxicologie in Amsterdam. In 1912 kwam daar de technische chemie bij. Hondius Boldingh was echter vooral geïnteresseerd in de toegepaste scheikunde; de farmaceutische en analytische chemie kwamen bij hem op de tweede plaats.
23 Over Aten sr.: L.M. Boerlage en H.W. van Deinum, *Chemisch Weekblad* 46(1950)117-119
24 G. Dijkstra, in: *Werken aan scheikunde*, p. 379
25 Over Van der Meulen: *Chemisch Weekblad* 53(1957)177-179

IX. Scheikundige technologie

Inleiding

Een afzonderlijke plaats in de geschiedschrijving van de scheikunde in ons land, neemt de beoefening ervan aan de Technische Hogeschool in Delft in, waar de nadruk immers vooral lag op de scheikundige technologie en niet zo zeer op de chemie als zuivere wetenschap.[1]

Toen de Polytechnische School in 1905 verheven werd tot Technische Hogeschool, was Sebastiaan Hoogewerff (1847-1934) al vanaf 1885 als hoogleraar scheikunde en directeur van het scheikundig laboratorium aan de Polytechnische School verbonden. Hij bleef dat ook aan de Technische Hogeschool, waarvan hij van 1905-1907 rector magnificus was. In 1905 nam zijn leerling Henri ter Meulen het onderwijs in de analytische chemie en in 1907 Andreas Smits het onderwijs in de anorganische scheikunde van hem over. Hoogewerff zelf bleef tot zijn emeritaat in 1907 de organische chemie doceren.

Chemische technologie werd niet alleen in Delft gedoceerd en beoefend. Al in 1902 werd Willem Paulinus Jorissen toegelaten als privaatdocent voor technische en fysische chemie aan de Leidse Universiteit. Op 19 april 1902 hield hij zijn openbare les *Over de toepassing van de physische chemie in de chemische techniek en over het belang van de studie der technische chemie voor onze aanstaande doctoren in de chemie en pharmaceuten*. Jorissen zag het belang van een studie van de technische chemie niet alleen bepaald tot ‘die studenten in de chemie, die fabrieks-chemicus wenschen te worden of zelfs eventueel eene fabriek denken op te richten’, maar ook ‘de aanstaande directeur of chemicus van een particulier laboratorium dient er mede bekend te zijn, daar hij dikwijls fabrikanten van advies heeft te dienen’ en de aanstaande leraar scheikunde, die door het behandelen van enige toepassingen van de scheikunde bij veel van zijn leerlingen meer belangstelling voor de chemie zal weten op te wekken.[2]

In 1901 werd Andreas Smits in Amsterdam toegelaten als privaatdocent en in 1904 als lector in de technische chemie. Enige jaren later, in 1909, werd Gerrit Hondius Boldingh (1865-1936) buitengewoon hoogleraar in Amsterdam in de farmaceutische en analytische scheikunde, de microchemie en toxicologie als opvolger van de naar Utrecht vertrokken Nicolaas Schoorl. In 1912 werd Boldinghs leeropdracht gewijzigd in toegepaste scheikunde, dat hij tot zijn emeritaat in 1930 aan de Amsterdamse studenten onderwees.[3] Boldingh had in Amsterdam farmacie gestudeerd, was in 1887 bevorderd tot apotheker en ging vervolgens schei- en natuurkunde studeren. Op

14 december 1893 promoveerde hij bij Van der Waals tot doctor in de wis- en natuurkunde op het proefschrift *De afwijkingen van de wetten voor verdunde oplossingen* en op dezelfde dag tot doctor in de scheikunde bij Van 't Hoff op stellingen. De zuivere wetenschap trok hem echter weinig aan. Voor Boldingh waren de praktijk en de toepassingen ervan het voornaamste en daarom legde hij zich geheel toe op de toegepaste scheikunde.

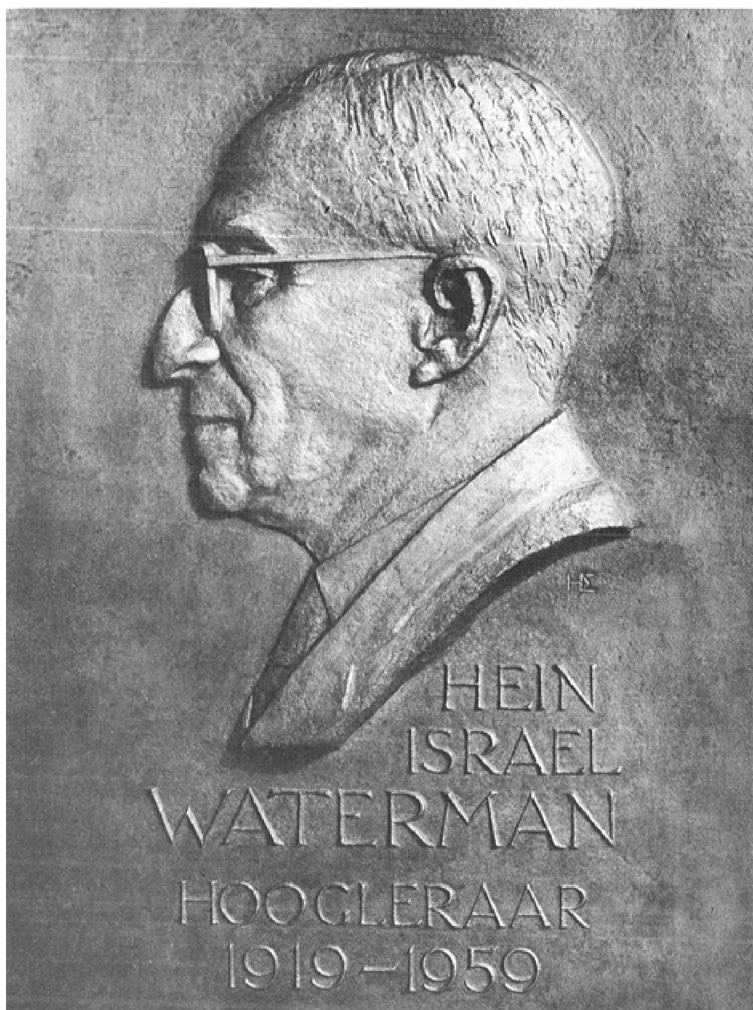
Hein Israel Waterman (1889-1961) en de scheikundige technologie

Keren we echter terug naar Delft, waar Hein Israel Waterman (1889-1961) een uiterst belangrijke plaats innam in de Nederlandse scheikundige technologie uit de eerste helft van deze eeuw.[4.] Niet alleen vormde hij bijna twee generaties van Delftse chemische ingenieurs, maar tevens droeg hij uitzonderlijk bij tot de ontwikkeling van de industriële scheikunde in ons land.

Waterman had van 1906-1911 in Delft scheikundige technologie gestudeerd. Hij was assistent voor organische chemie bij Jacob Böeseken en werkte tegelijkertijd op het laboratorium van Martinus Willem Beijerinck aan biochemische vraagstukken. Op 20 januari 1913 promoveerde hij bij Böeseken op het proefschrift *Over eenige factoren die de ontwikkeling van penicillium glaucum beïnvloeden*.

Na zijn promotie was Waterman korte tijd assistent aan het Rijksbureau tot Onderzoek van Handelswaren te Leiden en daarna leraar scheikunde en later scheikundige technologie aan de Middelbare Technische School te Dordrecht. In 1917 combineerde hij deze functie met die van directeur en leraar aan de vakcursus voor bierbrouwers te Rotterdam.

In 1919 werd Waterman benoemd tot gewoon hoogleraar in de chemische technologie te Delft, welk ambt hij op 19 maart van dat jaar aanvaardde met het uitspreken van een oratie *Wetenschap en chemische industrie*. Het vak werd toen sinds 1912 gegeven door Alphonsus Maria Antonius Aloysius Steger (1874-1953), die zijn ambt op 4 juni 1912 had aanvaard met een oratie over *De toekomst der chemische industrie in Nederland*. Steger was organisch-chemicus en in 1898 bij Lobry de Bruyn in Amsterdam gepromoveerd op een onderzoek over de *Substitutiesnelheid van een nitrogroep in o. en p.dinitrobenzol door een oxyalkyl*. Hij had al vroeg een grote belangstelling voor de toegepaste scheikunde en was na zijn promotie naar de Technische Hochschule in Charlottenburg gegaan om daar chemische technologie te studeren. Terug in Nederland werkte hij als chemicus in de gasfabriek te Zaandam en werd in 1901 directeur van de watergasmaatschappij in Amsterdam. Sinds 1908 was hij bovendien privaatdocent in chemische technologie aan de Universiteit van Amsterdam.[5.] Toen hij in 1918 benoemd werd tot technologisch adviseur-generaal van de N.V. Antoon Jurgens' Vereenigde Fabrieken verwisselde hij zijn Delftse ordinariaat in een buitengewoon hoogleraarschap in de technologie van de oliën en vetten (tot zijn emeritaat in 1944), terwijl Waterman algemeen hoogleraar voor de chemische technologie werd. Deze werd op zijn beurt sinds 1920 bijgestaan door Gerardus Abraham Brender à Brandis (1881-1973), die tot 1952 buitengewoon hoogleraar in de chemische technologie, met name de steenkooltechnologie, was.



XXV. Hein Israël Waterman (1889-1961), van 1919 tot 1959 hoogleraar scheikundige technologie aan de Technische Hogeschool te Delft. Vooral bekend door zijn grafisch-statistische analysemethoden (n-d-M methode). Door zijn wetenschappelijk werk en door zijn invloed op zijn talrijke leerlingen was hij van zeer grote betekenis voor de Nederlandse chemische industrie.

In zijn oratie van 1919 verdedigde Waterman de toen nog verre van algemeen aanvaarde opvatting, dat de industrie in hoge mate gebaat is met wetenschappelijk onderzoek en sprak hij de hoop uit 'te kunnen meewerken aan de wisselwerking tussen chemische industrie en wetenschap'. Een jaar eerder, op 3 april 1918, had Hugo Rudolph Kruyt in Devender bij de opening van de jaarlijkse vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging, gesproken over 'samenwerking van wetenschap en industrie in Nederland'. Hij had Deventer als vergaderplaats bewust gekozen om de leden van de NCV behalve met onze universiteits- en hogeschoolsteden ook met onze centra van industrie kennis te laten nemen. 'Wij meenen nl. daarmede bij te dragen in de vervulling van een plicht, die naar ons gevoelen in hooge mate de Nederlandsche Chemische Vereeniging is opgelegd, t.w. om in dezen buitengewonen tijd met alle kracht te bevorderen een levendige samenwerking van wetenschap en industrie hier te lande'.[6.] Kruyt rekende tot chemische fabrieken die 'fabrieken, waarbij ingrijpende scheikundige veranderingen uitgangs- en eindproduct scheiden en waar scheikundige ervaring de bedrijfsmethode geleverd heeft of er verbetering in kan aanbrengen'.[7.] Typische chemische bedrijven zijn bedrijven waar anorganische producten worden gemaakt, die synthetisch organische processen uitvoeren, verffabrieken en ververijen, koolteerdestilleerderijen en papierfabrieken, margarinefabrieken met hun vethardingen, lijm- en oliefabrieken, enz. De oorlog en zijn economische gevolgen had laten zien dat wij belangrijke van deze bedrijven vrijwel geheel misten. 'De fabricatie van anorganische en synthetisch organische stoffen was hier maar zeer schaars aanwezig en het ophouden van den anders ons toevloeienden, ja haast overstroomenden invoer bracht noodtoestanden, die in hooge mate tot zelf-produceeren aansporen'. Nodig daartoe was wetenschappelijk onderzoek. De kleurstofindustrie was in Engeland ontstaan en werd tot ongeveer 1870 voornamelijk daar en in Frankrijk uitgeoefend. Maar sindsdien werd ze meer en meer een typische Duitse industrie en was bij het begin van de oorlog vrijwel een Duits monopolie geworden. Dit liet duidelijk zien 'hoe zelfs een bloeiende industrie op scheikundig gebied ten onder gaat, als het wetenschappelijk onderzoek haar niet op peil houdt'.[8.]

Kruyt constateerde dat weliswaar ons land 'een bloeiende wetenschappelijk leven en een goed onderwijssysteem' had, maar dat 'juist het contact tusschen wetenschap en industrie hier te lande steeds zoo zwak was'. Hij merkte op: 'Dat gemis aan vertrouwen bestaat hier evenzeer, de schuld ligt ongetwijfeld aan beide zijden. In mijn studententijd was er onder ons onmiskenbaar een tegenzin, een kleineerend waardeeren van de industrie; de weg naar de techniek was voor de zwakke broeders bestemd, wie zich zelf als chemicus respecteerde, zocht een baantje, dat hem vrijen tijd gaf voor zuiver wetenschappelijk werk. Dat er prachtig werk te doen viel in een zuiver technische betrekking werd eenvoudig buitengesloten geacht'.[9.] Gelukkig was dat de laatste tijd veranderd. In Utrecht ging de meerderheid van de afgestudeerde chemici naar de industrie, 'bij bijna allen tot voldoening niet alleen van henzelf, maar tevens van de leiders der ondernemingen, waarin zij werken'. Nodig was echter een samenwerking tussen universiteit en industrie. De atmosfeer van een universiteitslaboratorium leende zich meer voor het doen van ontdekkingen dan een fabriekslaboratorium. Onze 'Nederlandsche hoogleeraren, lectoren en privaatdocenten [...] zullen zich niet eenzijdig en uitsluitend met hun theoretische en wetenschappelijke vraagstukken mogen bezighouden, doch daarnaast ruime belangstelling moeten hebben

voor de moeilijkheden der techniek, die hen daarvoor ongetwijfeld behoorlijk zal honoreeren, evenals zij dat in Duitschland doet'.[10.] Maar het initiatief zal toch moeten uitgaan van de industrie, zij moet 'beginnen haar vraagstukken te stellen door het zoeken van rechtstreeks contact'[11.], omdat zij weet wat het nut is van wetenschappelijk-technisch werk in verband met handels-economische en fabricage-technische factoren. Kruyt pleitte dan ook voor een samenwerking van wetenschap en industrie: 'Samenwerking van wetenschap en nijverheid is dus een desideratum, waarvan de vervulling in elke richting voordeel zal brengen. De weg zal tweeledig moeten zijn: eenerzijds een rechtstreeks samenwerken van de laboratoria van universiteiten en hoogescholen met de industrie, anderzijds een ruime plaats voor jonge onderzoekers in de fabriek'.[12.]

Waterman ging het in de eerste plaats om de bestudering van chemische processen die voor verbetering vatbaar waren. Als voorbeelden noemde hij de suikerindustrie, met name de sapzuivering, en de industrie van de minerale en vette oliën, industrieën waar hij toen blijkbaar al grote belangstelling voor had. In zijn onderwijs wilde hij een brug slaan tussen hogeschool en industrie door de uitbouw van het in de jaren 1912-1918 door Steger begonnen, zogenaamde 'apparatenlaboratorium' van het Laboratorium voor Chemische Technologie in Delft, waarin de student door het werken op semi-technische schaal een inzicht kon krijgen in de wezenlijke verschillen die er bestaan tussen een experiment op laboratoriumschaal en de verwezenlijking daarvan op industriële schaal.[13.] Op zijn colleges gaf hij geen gedetailleerde beschrijving van de verschillende chemische industrieën, maar een theoretische behandeling van de verschillende 'eenheidsbewerkingen' (unit operations), die alle chemische industrieën gemeen hebben (destillatie, kristallisatie, filtratie, enz.) en waardoor de gehele chemische industrie vanuit één algemeen geldig gezichtspunt kan worden beschouwd.

In 1939 werd Pieter Martinus Heertjes (1907-1983), een van Watermans assistenten, benoemd tot lector in de chemische technologie met als leeropdracht de bovengenoemde 'unit operations', zodat Waterman zich geheel kon bepalen tot de chemische processen.

Opgemerkt wordt dat in 1936 door de afdeling technische fysica van de Technische Hogeschool te Delft een bijzonder hoogleraarschap werd ingesteld in de fysische technologie. Hiervoor werd Willem Johannes Dominicus van Dijck (1899-1969), een vooraanstaand natuurkundige en researchcoördinator van Shell, benoemd. Na de oorlog werd zijn taak van 1947-1963 overgenomen door de ordinarius Hendrik Kramers (*1917).

Watermans werk

Bij zijn afscheid als Delfts hoogleraar in 1959 gaven een aantal van Watermans leerlingen in een bundel *De Oogst* een overzicht van zijn wetenschappelijk werk op het gebied van de suikertechnologie (Carolus Johannes Asselbergs), de steenkoolchemie (Dirk Willem van Krevelen), de chemie van de verzeepbare oliën en vetten (Simon Hendrik Bertram) en de petroleumindustrie, waarvoor Johannes Nicolaas Jacobus Perquin de hogedruktechniek en het destructief hydrogeneren voor zijn rekening nam en Johannes Cornelis Vlugter, Hendrik Adriaan van Westen en Jacob Jan Leendertse de grafisch-statistische identificatiemethoden behandelden. Een bijzondere

plaats in zijn werk neemt de door hem omstreeks 1930 uitgevonden moleculaire destillatie in, waarbij gedestilleerd wordt in hoogvacuüm en de damp een zeer korte en brede (in plaats van een lange en nauwe) weg moet doorlopen.[14.] Het verdampend en condenserend oppervlak ligt hierdoor dicht bij elkaar en de afstand tussen verdampend en condenserend oppervlak is van dezelfde orde van grootte als de vrije weglengte van de moleculen. Vandaar dat men deze methode moleculaire destillatie noemde.[15.] ‘Aan Waterman's wetenschappelijke inzichten lag de overtuiging ten grondslag, dat de natuur, in al haar rijkdom van vormen en verschijnselen, zeer eenvoudige algemeen geldende regels volgt’, aldus de anonieme schrijver van een ‘in memoriam’ voor Waterman.[16.] Zijn levenswerk zag hij dan ook in het beschrijven van chemische en fysische processen volgens een eenvoudig, algemeen geldend beginsel.

Waterman heeft vooral grote bekendheid gekregen door zijn grafisch-statistische analysemethoden, de zogenoemde n-d-M methode, die vooral zijn nut in de scheikunde van de koolwaterstoffen heeft gevonden. Met zijn leerling J.N.J. Perquin (1894-1971) wilde Waterman in de jaren twintig het toen belangrijke thermische kraakproces chemisch-technisch vergelijken met het thermisch hydrogeneren volgens de Duitse chemicus Friedrich Bergius, die in de jaren 1910-1913 vloeibare koolwaterstoffen wist te bereiden door hydrogenering onder hoge druk van steenkool en van zware oliefracties. Perquin promoveerde in 1929 bij Waterman op een *Bijdrage tot de kennis van het Bergiusproces*.

Waterman was in 1928 door de toenmalige Bataafsche Petroleum Maatschappij gevraagd een onderzoek te doen naar de hydrogenering van zware aardoliefracties. Een van zijn - door de BPM betaalde medewerkers - was J.C. Vlugter (1905-1991), die van 1922-1927 in Delft scheikundige technologie had gestudeerd en in 1932 bij Waterman zou promoveren op het proefschrift *Over de chemische samenstelling van hoogmoleculaire minerale oliën*. In 1934 kwam hij als procestechnoloog in dienst van de Koninklijke/Shell, waar hij semi-technische processtudies uitvoerde op het gebied van het hydrogenerend kraken van zware aardolieresiduen. In 1959 nam hij afscheid als plaatsvervangend directeur van het Koninklijke Shell Laboratorium te Amsterdam en werd de opvolger van Waterman in Delft en later hoogleraar in Twente (1963-1971).[17.]

Het grote probleem bij het promotieonderzoek van Perquin was dat de samenstelling van de verkregen reactieproducten zo ingewikkeld was, dat ze door gefractioneerde destillatie nauwelijks of zeer moeilijk waren te onderscheiden. Samen met Waterman en Van Westen (die in 1931 bij Waterman was gepromoveerd op *Het waterstofgetal en eenige toepassingen*) ontwikkelde Vlugter de zogenoemde ringanalyse voor het bepalen van de samenstelling van minerale oliën. De methode werd in zijn bovengenoemde proefschrift beschreven en later uitgewerkt tot de bekende n-d-M methode. De methode vond algemene toepassing als routinebepaling in de petroleumindustrie, totdat ze door de moderne spectroscopische technieken zou worden vervangen.

Vlugter, Waterman en Van Westen kwamen op de gedachte om de ingewikkelde mengsels van de verkregen koolwaterstoffen niet te beschouwen als een mengsel van stoffen met een verschillende moleculaire samenstelling, maar ze te karakteriseren

door de hoeveelheden koolstof, die in aromaatstructuur, in nafteenstructuur en in paraffinestructuur voorkomen en die ieder een bepaalde hoedanigheid van de olie vertegenwoordigen. De onderzochte aardoliefractie werd daartoe zodanig gehydrogeneerd, dat alleen de aanwezige aromaatringen worden omgezet in nafteenringen. Dit geeft het percentage koolstof in de aromaatstructuur. Het verkregen product bestaat alleen uit nafteenringen en uit paraffineketens, waarvan de verhouding eveneens bepaald wordt uit het waterstofgehalte en het molecuulgewicht. Het waterstofgehalte van een volledig gehydrogeneerde olie bleek uit de specifieke refractie volgens de formule van Lorentz-Lorenz te kunnen worden berekend: $[(n^2 - 1)/(n^2 + 2)] \times [1/d]$ [n = brekingsindex en d = soortelijk gewicht].

In 1932 publiceerden Vlugter, Waterman en Van Westen in het *Chemisch Weekblad* een artikel over 'verbeterde methoden voor het onderzoek van minerale oliën, in het bijzonder van de hoogkokende bestanddeelen'[18.], waarin hun eerste ringanalysediagram werd afgebeeld. Voor een volledig gehydrogeneerde olie kan grafisch uit het molecuulgewicht en de soortelijke refractie of het waterstofgehalte het totaal aantal ringen per molecuul worden bepaald. Kent men verder uit de waterstofopname bij de hydrogenering van het uitgangsmateriaal het percentage koolstof in de aromaatringstructuur, dan kan men daaruit het aantal aromaat- en het aantal nafteenringen per molecuul en het percentage koolstof in de nafteenringen in de paraffinestructuur berekenen.

Deze eerste grafiek werd het begin van talrijke onderzoekingen, zowel door de Delftse school van Waterman als op het Koninklijke Shell Laboratorium in Amsterdam. Waterman en zijn leerlingen konden met succes van de methode gebruik maken bij de bestudering van chemische en fysische processen in de petroleumindustrie. Later werd de methode uitgewerkt tot de n-d-M methode, waarin de ringsamenstelling rechtstreeks werd berekend of afgelezen in daarvoor opgestelde nomogrammen uit de brekingsindex, de dichtheid en het molecuulgewicht (1935).[19.] De Shellmedewerkers Klaas van Nes en Hein van Westen beschreven in 1951 in hun boek *Aspects of the constitution of mineral oils* de toepasbaarheid van de door Waterman en zijn school ontwikkelde methoden van structurele analyse op het gebied van de aardolie-industrie. Uit de combinaties van fysische constanten (brekingsindex, dichtheid, molecuulgewicht) van de aardolie kan een beeld worden verkregen van zijn chemische structuur en hieruit kan men weer andere eigenschappen van de aardolie verklaren. Dirk Willem van Krevelen (*1914), die na zijn scheikundestudie in Leiden in 1937 als privé-assistent bij Waterman (in dienst van BPM/Shell) gepromoveerd was op het proefschrift *De geïnduceerde pyrolyse van methaan* (19 december 1939), deed met zijn medewerkers op het Centraal Laboratorium van de Staatsmijnen, waar hij in 1940 als chemicus in dienst was getreden, analoog onderzoek over de structuur van steenkolen en inkolingsproducten in het algemeen.[20.] 'Via volledige hydrogenering aan de hand van de grafisch-statistische analyse methode, de "ring-analyse", die ik in het laboratorium van Waterman had leren kennen en zelf had helpen funderen', leidde het onderzoek aan de steenkoolstructuur tot de conclusie, dat steenkool 'een polymere koolwaterstof met perifere zuurstof- en stikstof-functies' is, aldus Van Krevelen in zijn afscheidscollege als buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft (1980).[21.]

De Duitse bezetting van ons land en het naoorlogs herstel

Op 10 mei 1940 vielen Duitse troepen ons land binnen en kwam Nederland onder Duitse bezetting. Op 22 november van dat jaar werd Waterman wegens zijn joodse afkomst uit zijn functie geschorst. Later werd hij met zijn gezin afgevoerd naar een concentratiekamp, dat hij gelukkig overleefde. In 1945 keerde de familie Waterman in ons land terug.

Nederland verkeerde na de Tweede Wereldoorlog in een miserabele toestand. Te voorzien was dat tijdens en na de wederopbouw ook grote behoefte zou ontstaan aan technisch-chemisch opgeleide ingenieurs. Als een geschenk uit de hemel viel toen het besluit van directie en commissarisen van de N.V. Bataafsche Petroleum Maatschappij, genomen op 13 februari 1946, om 'ten volle waarderend de grote betekenis van Nederlandsche geleerden en ingenieurs voor de ontwikkeling van de industrie, en doordrongen van het feit, dat de snelle groei van wetenschap en techniek het noodzakelijk maakt belangrijke vernieuwingen aan te brengen aan verschillende instellingen van Hoger Onderwijs', een - voor die tijd enorm - bedrag van drie miljoen gulden aan de Nederlandse Staat aan te bieden, waarvan een derde 'voor de uitbreiding en inrichting van een Proeffabriek bij het Laboratorium voor Chemische Technologie voor de T.H. te Delft, waarin de studenten de technische uitvoering van de belangrijkste chemisch-technologische bewerkingen van de chemische industrie practisch kunnen leren'[22.], de in de Verenigde Staten zo genoemde 'unit processes'. Eveneens een derde van het bedrag werd bestemd voor de bouw en inrichting van een Proeffabriek voor Physische Technologie 'waarin de studenten zowel theoretisch als practisch vertrouwd kunnen worden gemaakt met physisch-technologische bewerkingen van de aardolie-industrie en van de chemische industrie', de z.g. 'unit operations'.[23.] De enige voorwaarde was, dat de Technische Hogeschool een gewoon hoogleraar in de fysische technologie zou aantrekken naast de reeds sinds 1936 aanwezige bijzondere hoogleraar W.J.D. van Dijck. Dat werd toen H. Kramers. De uitbreidingen werden op 9 februari 1951 officieel in gebruik genomen en voldeden geheel aan het doel van de schenking.

Kort na de oorlog werden er in Delft nieuwe hoogleraren voor chemische technologie benoemd. De lector Pieter Martinus Heertjes (1907-1983) werd in 1946 ordinarius. In hetzelfde jaar viel de benoeming van Jan Hendrik de Boer (1899-1971) tot buitengewoon hoogleraar. Een jaar later volgde die van de boven genoemde Hendrik Kramers in de fysische technologie, evenals die van Jelk Gerrit Hoogland (*1903), die tot buitengewoon hoogleraar in de elektrochemie werd benoemd. Op instigatie van Waterman werd in 1949 Edmund Francis Boon (1913-1982) in de afdeling werktuigbouwkunde benoemd tot gewoon hoogleraar in de chemische apparatenbouw. Tenslotte volgde in 1952 de benoeming van Dirk Willem van Krevelen tot opvolger van Brender á Brandis tot buitengewoon hoogleraar in de chemische technologie met als leeropdracht 'de technologie der vaste en gasvormige brandstoffen en de daarmede verbonden energieopwekking'. Met nieuwe laboratoria en een versterkte staf van collega's begon Waterman aan de laatste periode van zijn loopbaan. Met zijn collega's De Boer en Van Krevelen legde hij de basis voor de Nederlandse chemische technologie.

In 1959 ging Waterman met emeritaat; zijn afscheidscollege op 26 juni van dat jaar ging over de 'ontwikkeling van de chemische industrie en het chemisch technisch

onderzoek'.[24.] Veertig jaar was hij hoogleraar in Delft geweest, alleen onderbroken door een gedwongen verblijf in het buitenland gedurende de Tweede Wereldoorlog. In deze periode van zijn hoogleraarschap publiceerde Waterman drie samenvattende boeken over zijn wetenschappelijk werk. In 1951 verscheen *The hydrogenation of fatty oils* (in samenwerking met C. Boelhouwer en L.J. Revallier), in 1958 *Correlations between physical constants and chemical structure* (samen met C. Boelhouwer en J. Cornelissen) en in 1960 *Process Characterisation* (samen met C. Belhouwer en D.Th.A. Huibers).

Het scheikundig onderzoek op industriële researchlaboratoria

'Voor de eerste helft van de verslagperiode is men bijna uitsluitend aangewezen op het werk in de academische centra; slechts in sporadische gevallen vindt een chemicus in het practicumvertrek van een school of in een particulier laboratorium de mogelijkheid en tevens de energie tot wetenschappelijk werk', aldus H.J. Backer in zijn overzicht over 'de belangrijkste bijdragen van Nederlandse chemici in de laatste halve eeuw' in het *Chemisch Weekblad* van 1953.[25.] Een van de weinige uitzonderingen was de Koninklijke Nederlandsche Gist- en Spiritusfabriek te Delft, die in 1870 haar eerste gist produceerde en waarvan haar stichter Jacobus Cornelis van Marken (1845-1906), de eerste aan de Delftse Polytechnische School afgestudeerde technoloog, zich al snel bewust was van de rol die research diende te hebben in de groei en uitbreiding van de onderneming. In 1885 benoemde hij als eerste academisch gevormde medewerker voor de leiding van het nieuwe bacteriologische laboratorium Martinus Willem Beijerinck (1851-1931). Na de benoeming van Beijerinck tot hoogleraar in de technische microbiologie aan de Technische Hogeschool, werd hij in 1896 opgevolgd door Hendrik Pieter Barendrecht (1871-1942), een leerling van Van 't Hoff, die zich vooral bezighield met de theoretische verklaring van de enzymwerking. De Nederlandsche Gist- en Spiritusfabriek was waarschijnlijk de eerste Nederlandse onderneming, waar fundamentele research werd gedaan. Ze stond in nauw contact met de Technische Hogeschool, eerst door Beijerinck, later door diens opvolger Albert Jan Kluyver, waarvan verschillende leerlingen researchmedewerker van de Gist- en Spiritusfabriek werden.[26.] In de laatste oorlogsjaren werd met onderzoek over penicilline begonnen, dat al in juli 1946 op de markt kon worden gebracht. Ook de toenmalige Nederlandsche Oliefabriek, sinds 1898 de N.V. Oliefabrieken CalvéDelft, nam al vroeg een scheikundige in dienst. Op 1 januari 1889 werd Jacob Jan Alexander Wijs (1864-1942) tot chemicus aangesteld. Na enige jaren in Delft werkzaam te zijn geweest, kreeg hij van zijn directeur verlof van tijd tot tijd bij Van 't Hoff te werken voor zijn dissertatie. Op 25 november 1893 promoveerde Wijs over *De electrolytische dissociatie van water*. Hij bleef tot zijn pensionering in dienst van Calvé, van 1918 tot 1928 als technisch onderdirecteur.[27.]

In 1918 stelde de in Amsterdam opgeleide chemicus Gustaaf de Clercq (1888-1953), toen directeur van de veevoederfabriek De Klingelbeek in Arnhem, vast dat het 'jaren [heeft] geduurd voordat de leidende personen der industrie tot de overtui-

ging gekomen waren, dat zij de wetenschap in hun bedrijf moesten binnenhalen in den vorm van een onderzoekingslaboratorium, ingericht naar de eischen des tijds en geleid door een staf van wetenschappelijke medewerkers'.[28.] De meeste fabrieken hadden een laboratorium voor de controle van de grondproducten, de tussenproducten en het eindproduct. Industriële researchlaboratoria waren rond 1918 nog schaars, 'alleen zeer groote fabrieken [kunnen] zich een dergelijke luxe [...] veroorlooven[;] voor een minder groote fabriek [is] een onderzoekingslaboratorium veel te duur', was algemeen de mening.[29.] De Clercq was het hier niet mee eens. De te investeren kosten voor een dergelijk laboratorium 'zullen dubbel en dwars goedgemaakt worden, doordat de fabrikant met de hulp van de wetenschap in zijn bedrijf in staat zal zijn, zich te handhaven niet alleen tegen bestaande, maar ook tegen komende concurrentie'.[30.]

Deze situatie veranderde rond 1920 toen het Natuurkundig Laboratorium van Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven zich tot een zelfstandig centrum van onderzoek ontwikkelde. Een tiental jaren later kwam het laboratorium van De Bataafsche Petroleum Maatschappij te Amsterdam tot ontplooiing, evenals het centrale laboratorium van de Staatsmijnen. Hieraan zijn toe te voegen het proeflaboratorium van de ENKA te Arnhem (voor het onderzoek van de verbetering van rayon) en de grote farmaceutische en voedingsmiddelenindustrieën (Organon, Unilever) en de T.N.O.-instituten. Pas na de Tweede Wereldoorlog nam de industriële research in ons land een hoge vlucht.[31.]

Scheikunde op het Natuurkundig Laboratorium van Philips

Voor de ontwikkeling van de scheikunde in ons land is het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips Gloeilampenfabrieken te Eindhoven van bijzondere betekenis geweest.[32.] Vijftien jaar nadat Gerard Leonard Frederik Philips (1858-1942) - die in 1883 als werktuigbouwkundig ingenieur afgestudeerd was aan de Delftse Polytechnische School - in mei 1891 in Eindhoven met de productie van gloeilampen was begonnen[33.], besloot hij dat hij een natuurkundig onderzoekslaboratorium, net als de General Electric Company in Schenectady in de Verenigde Staten al sinds 1900 had, moest hebben. Dit was noodzakelijk nadat ons land op 7 november 1910 een wet had ingevoerd 'tot regeling van het octrooirecht voor uitvindingen', waardoor Philips niet zonder meer van de octrooien van General Electric gebruik kon maken.[34.] Op 2 januari 1914 kwam de fysicus Holst bij Gerard Philips als onderzoeker in dienst.

Gilles Holst (1886-1968) had in Zürich aan de Eidgenössische Technische Hochschule aanvankelijk elektrotechniek gestudeerd, maar was spoedig omgezwaaid naar wis- en natuurkunde (1904-1908). Later, in juli 1914, was hij er gepromoveerd op een onderzoek over de toestandsvergelijking en de thermodynamische eigenschappen van ammonia en van methylchloride, dat hij als assistent van Heike Kamerlingh Onnes op diens cryogene laboratorium te Leiden had uitgevoerd (1910 tot eind 1913).[35.] Hier nam hij als eerste het verschijnsel van de supergeleiding van metalen waar.

Toen Holst bij Philips in dienst kwam, richtte hij daar het Natuurkundig Laboratorium op, waar hij tot 1946 directeur van was. Hij werd toen opgevolgd door een driemanschap, de fysicus Hendrik Brugt Gerhard Casimir (*1909), de elektrotechnisch

ingenieur Herre Rinia (1905-1985) en de chemicus Evert Johannes Willem Verwey (1905-1981). Van 1929-1939 was Holst bovendien bijzonder hoogleraar natuurkunde in Leiden vanwege de Stichting 'het Leidsch Universiteitsfonds'. Van 1946-1956 was hij curator en later president-curator van de Technische Hogeschool te Delft.

Holst heeft een bijzonder grote invloed uitgeoefend op het industriöle onderzoek in ons land in de eerste helft van deze eeuw. Toen hij in dienst van Philips kwam, had de gloeilampenfabriek de beschikking over een werktuigkundige, een elektrotechnicus en een chemicus. Sinds 1908 werkte er de chemisch ingenieur Johannes Cornelis Lokker (1885-1970), een vroegere assitent van J. Böeseken in Delft, die zich vooral bezighield met de bereiding en analyse van wolfraam en een chemisch laboratorium oprichtte.[36.] Bovendien hield de scheikundige Hendrik Filippo (1880-1964), die in Leiden had gestudeerd, zich vanaf 1911 bezig met glasanalyses en werkzaamheden voor de zuivering van gassen en gasmengsels voor de gasgevulde gloeilampen.[37.] Hoewel verwacht werd dat Holst zich vooral zou bezighouden met het onderzoek van natuurkundige vraagstukken die verband hielden met de fabricage van de wolfraamlamp, kon hij zijn aandacht ook richten op meer algemene fysische problemen. Holst was er diep van overtuigd dat alleen een fundamentele benadering van de natuurverschijnselen tot technische voorsprong kan leiden. Vandaar dat hij een afzonderlijk researchlaboratorium oprichtte, het Nat. Lab., waarin hij zuiver wetenschappelijk werk stimuleerde en bevorderde. Hij zag in dat het toen recente onderzoek van Niels Bohr over de structuur van atomen en het uitzenden van licht door atomen (1913) een werkelijk fundamenteel inzicht kon geven in de gasontladingsverschijnselen en dat pas daarmee lichtemissie kon worden begrepen. Ze was daarom noodzakelijk voor een succesvol toegepast onderzoek en met haar hulp zouden technische toepassingen niet kunnen uitblijven. Het onderzoek van elektronenemissie - van groot belang voor de eigenschappen van kathoden - is dan ook altijd een belangrijk onderzoeksthema in het Philips laboratorium geweest. In het begin van de jaren dertig realiseerde Holst zich dat de nieuwe kwantummechanica tot een beter begrip van het tot dan toe onbegrepen gedrag van elektronen in vaste stoffen kon voeren. Dit leidde omstreeks 1940 tot een verschuiving van de belangstelling op het Nat. Lab. van gassen (vooral als dragers van elektrische ontladingen) naar vaste stoffen en werd er steeds meer aandacht besteed aan de problemen van de vaste stof, zowel vanuit een zuiver wetenschappelijk oogpunt als in verband met mogelijke praktische toepassingen.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat Holst regelmatig naar uitbreiding van zijn staf streefde. Het toenemend onderzoek leidde snel tot plaatsgebrek in het laboratorium. In november 1923 kon een nieuw laboratorium in gebruik worden genomen, waar vijftien academisch gevormde natuurkundigen, scheikundigen en ingenieurs werkzaam waren met ongeveer twintig assistenten, instrumentmakers en glasblazers. In 1942 bestond de staf van het laboratorium uit eenenzestig fysici en natuurkundige ingenieurs, eenendertig chemici en eenenveertig grotendeels elektrotechnische ingenieurs.[38.] Na de Tweede Wereldoorlog vond er een explosieve groei plaats van de researchactiviteiten.

Holst zag al vroeg in dat hij zijn staf moest versterken met scheikundigen, omdat de ontwikkeling van de elektrotechniek voor een belangrijk deel door het beschik-

baar komen van nieuwe materialen zou worden bepaald. De aangetrokken jonge fysisch- en anorganisch-chemici zouden spoedig een grote invloed uitoefenen op de fysische chemie in ons land en het Eindhovense onderzoekscentrum van Holst leverde verschillende kandidaten voor vrijkomende leerstoelen in de fysische en anorganische chemie.

Als eerste chemicus kwam Anton Eduard van Arkel (1893-1976) in 1921 in dienst van het Nat. Lab. Deze leerling van Kruyt - bij wie hij op 1 juli 1920 was gepromoveerd op een onderzoek naar de *Uitvlokkingssnelheid van het seleensol* - zou tot 1934 in Eindhoven blijven, om daarna als hoogleraar in de anorganische en fysische chemie naar Leiden te gaan. Anderhalf jaar later kwam Jan Hendrik de Boer (1899-1971) de staf van het Nat. Lab. versterken. Hij was op 25 april 1923 bij H.J. Backer in Groningen gepromoveerd op een onderzoek over de bereidingswijze en de fysische eigenschappen van α-sulfoboterzuur en kwam in juni 1923 naar Eindhoven.[39.] Na het vertrek van Van Arkel naar Leiden werd De Boer de nestor van de Eindhovense groep scheikundigen. Hij bleef dat tot hij in mei 1940 uitweek naar Engeland, waar hij lid werd van de Buitengewone Raad van Advies van de Nederlandse Regering in Londen en in 1944 als luitenant-kolonel (later kolonel) door de Nederlandse Regering betrokken werd bij de organisatie van het militair gezag. Na de bevrijding hield hij zich met problemen van de chemische procesindustrie bezig, van 1946-1950 bij Unilever Research Organization in Groot-Brittannië en van 1950-1962 op het Centraal Laboratorium van de Staatsmijnen. Bovendien was hij van 1946-1969 buitengewoon hoogleraar in de scheikundige technologie in Delft.

Toen Van Arkel in Eindhoven met zijn werk begon, kreeg hij als eerste opdracht het onderzoek van de rekristallisatie van wolfraam als ondersteuning van het meer praktisch gerichte onderzoek waarmee Johannes Antonius Maria van Liempt (*1896) zich op het fysisch-chemische laboratorium van de gloeilampenfabriek bezig hield. Dit leidde in 1923 tot een methode voor de bereiding van zuiver monokristallijn wolfraam door dissociatie van WCl_6-damp aan een gloeiende kerndraad.[40.] Vanaf 1927 werden rekristallisatieverschijnselen onderzocht, een belangrijk onderzoek omdat het de levensduur van een gloeidraad in een lamp beïnvloedt. Het onderzoek werd gedeeltelijk uitgevoerd in samenwerking met de chemicus Wilhelm Gerard Burgers (1897-1988). Na diens benoeming tot hoogleraar in de fysische chemie aan de Technische Hogeschool te Delft (1940) heeft Burgers nog belangrijke bijdragen tot dit gebied geleverd. Met de fysicus Jacob Louis Snoek (*1902) werd bij een onderzoek over het diëlektrisch gedrag van organische dipoolmoleculen in oplossingen de empirische ‘Van Arkel en Snoek’-vergelijking gevonden (1932).

Intussen hadden Van Arkel en De Boer in 1924 een proces voor de scheiding van de chemische elementen zirkonium en hafnium door gefractioneerde kristallisatie gevonden.[41.] In een brief van 2 januari 1923 aan het weekblad *Nature* maakten onze landgenoot Dirk Coster en de Hongaarse chemicus György Hevesy bekend dat ze begin december 1922 het element hafnium hadden ontdekt. Niels Bohr had aangetoond dat er zich in het periodiek systeem tussen de zeldzame aarden en het tantalium een vierwaardig element (nr. 72) moest bevinden, dat met het zirkonium in eigenschappen moest overeenkomen. Het werd door Coster en Hevesy met behulp van röntgenspectroscopisch onderzoek in zirkoniummineralen gevonden.[42.] Dirk Coster (1889-1950) was op 3 juli 1922 bij Paul Ehrenfest in Leiden gepromoveerd op *Rönt-*

genspectra en de atoomtheorie van Bohr. Hij werkte van augustus 1922 tot de zomer van 1923 op het instituut van Bohr in Kopenhagen en was van 1924 tot zijn overlijden hoogleraar in de experimentele natuurkunde in Groningen.

In die tijd was het onderzoek naar de beste gloeidraden voor radiolampen overal in volle gang. Gezien de eigenschappen van hafnium (hoog smeltpunt en betrekkelijk lage dampspanning) leek het Holst de moeite waard te onderzoeken of het voor gloeidraden kon worden gebruikt. De eigenschappen ervan wezen er immers op dat de draden van het nieuwe element op tamelijk hoge temperatuur zouden kunnen gloeien, terwijl men kon aannemen dat het vrij gemakkelijk elektronen zou kunnen emitteren.[43.] Het probleem was dat het hafnium in slechts enkele procenten in zirkoniumertsen voorkwam. Vandaar het Eindhovense onderzoek naar de scheiding van beide metalen. Daar kwam bij dat, ondanks pogingen van verschillende onderzoekers, het toen nog niet gelukt was titaan en zirkonium in de vorm van pletbare staven te verkrijgen. Algemeen werd aangenomen, dat ze van nature bros zijn. Van Arkel probeerde tevergeefs deze metalen in staafvorm te verkrijgen door thermische ontleding van hun chloriden aan een hete wolfraamdraad. De Boer kwam op het idee dat het gebruik maken van de minder stabiele jodiden wel tot succes zou kunnen leiden. Dit leidde tot de bereiding van titaan en zirkonium in de vorm van buigzame, geheel zuivere en gekristalliseerde metalen.[44.] De Boer en zijn mederwerker J.D. Fast zorgden voor de technische uitwerking van dit belangrijke metallurgische proces.[45.] Johan Diedrich Fast (1905-1991) was een begaafd autodidact, die na de hogereburgerschool in 1923 als assistent in dienst kwam op het Nat. Lab. en zich opwerkte tot hoofdchemicus (1951). Zijn wetenschappelijke verdiensten werden bekroond met een buitengewoon hoogleraarschap in de metaalkunde te Delft (1954) en in de fysische chemie te Eindhoven (1961-1970). Het door hem op heldere wijze geschreven leerboek *Entropie* (1948; tweede, herziene druk 1959) heeft een grote rol gespeeld bij het universitaire onderwijs.

Zoals reeds eerder beschreven richtten Van Arkel en De Boer hun aandacht spoedig op het onderzoek van de elektrostatische benadering van de chemische binding.

Onder de talrijke onderzoekingen uit de jaren dertig van De Boer en zijn medewerkers op het Nat. Lab. vinden we zowel fysische als chemische. We treffen er een onderzoek aan met de fysicus Marten Cornelis Teves over de foto-emissie van lagen bestaande uit geadsorbeerde alkali-atomen op een of andere onderlaag en met de fysicus Willem Christiaan van Geel over het inwendig foto-effect en de gelijkrichting met halfgeleiders, maar ook de bestudering van adsorptieverschijnselen op zoutlagen, metalen en dergelijke met de in Groningen gepromoveerde organisch-chemicus Cornelis Johannes Dippel (1902-1971), de fysici Jan Frans Henri Custers en Cornelis Frederik Veenemans. Dippel[46.] geniet overigens ook bekendheid door zijn met de hervormde theoloog Johannes Marie de Jong en de Leidse hoogleraar in de sterrenkunde Hendrik Christoffel van de Hulst uitgegeven bundel *Geloof en natuurwetenschap: studies over de verhouding van Christelijk geloof en moderne natuurwetenschap* (1965,1967).

In 1934 kwam Evert Johannes Willem Verwey (1905-1981), die op 12 maart 1934 bij Kruyt was gepromoveerd op een onderzoek van de elektrische dubbellaag en de stabiliteit van het zilverjodidesol, in dienst van het Nat. Lab.[47.] Bij Philips paste Verwey

met succes de colloïdchemie toe op het onderzoek van de elektroforetische bedekking van metalen uit watervrije suspensies. Het onderzoek werd verricht met de fysicus Hugo Christiaan Hamaker en met De Boer (1939), die een van de eerste chemici was die het belang inzag van de elektrische dubbellaag en de Van der Waalskrachten voor colloïdale systemen.[48.] De nieuwe methode was zeer belangrijk voor de techniek van het opbrengen van dunne lagen materiaal op metaalelektroden. Daarnaast verrichtte Verwey gedurende zijn gehele Philipsperiode (van 1934 tot 1966) onderzoek naar de fysische en anorganische chemie van de vaste stof. Het ging daarbij vooral om de chemie en fysica van het kristalrooster met een verstoorde periodiciteit, dat wil zeggen over problemen betreffende de verdeling van de verschillende kationen over de diverse mogelijke plaatsen in het kristalrooster. Onder leiding van De Boer en Verwey voerde dit tot het onderzoek van halfgeleiders, luminiscentie, magnetisme en diëlektrica. De latere hoogleraar organisch-fysische chemie in Leiden Albert Jan Staverman (1912-1993), die van 1941-1946 op het Nat. Lab. werkte, herinnerde zich: ‘In het Natuurkundig Laboratorium van Philips werd ik geconfronteerd met op toepassing gericht fundamenteel onderzoek van het hoogste niveau en ook met teamwork van wetenschappers’.[49.] Duidelijk blijkt hoe zuiver wetenschappelijk onderzoek gepaard kan gaan met belangrijke technische vindingen.[50.] De toen bekende oxiden van ijzer en van andere elementen van de overgangsmetalen vertonen een reeks van interessante elektrische en magnetische eigenschappen, die van groot belang voor de elektronische industrie zijn. Vanaf het midden van de jaren dertig werd een grote reeks van oxidische verbindingen met spinelstructuur - met de algemene formule XY_2O_4, waarin X en Y metaalionen - onderzocht om na te gaan aan welke wetmatigheid de verdeling van de kationen voldoet. Verway heeft zich vele jaren beziggehouden met het onderzoek van het stabiliteitscriterium voor deze verdeling en de daarmee samenhangede vraagstukken van de magnetische en elektrische eigenschappen van gemengde oxidische spinellen. Belangrijk onderzoek werd verricht aan magnetiet (Fe_3O_4), waarvan het elektronisch geleidingsvermogen door Verwey en De Boer werd verklaard door aan te nemen dat het de inverse spinelstructuur $Fe^{3+}[Fe^{2+}Fe^{3+}]O_4^{2-}$ en niet de normale structuur $Fe^{2+}[Fe^{3+}Fe^{3+}]O_4^{2-}$ bezit. Hierbij werd een overgang waargenomen van de stochastische in een geordende verdeling beneden 118 ^{o}K, welke de naam ‘Verwey-overgang’ heeft verkregen.

Andere industriële researchlaboratoria

BPM/Shell

Nadat in 1890 in Den Haag de Koninklijke Nederlandsche Petroleum Maatschappij was opgericht, met als doel de exploitatie van petroleumbronnen in Nederlands Oost-Indië, werd in oktober 1895 in Delft een klein laboratorium gesticht dat al in december van dat jaar naar Den Haag werd overgebracht en in 1902 naar de Benzine Installatie Rotterdam verhuisde.[51.] De werkzaamheden op het laboratorium beperkten zich tot de ontwikkeling en de toepassing van methoden voor de analyse en keuring van petroleumproducten. Eind januari 1914 verhuisde het Laboratorium der N.V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij (BPM, nu Shell) naar Amsterdam. In het

begin hield men zich nog vooral bezig met het ontwikkelen van analyse- en keuringsmethoden, maar men zag snel in dat de toepassing van natuurwetenschappelijk onder-

zoek op bewerking, verwerking en toepassing van aardolieproducten van groot nut kon zijn. Spoedig ging de aandacht dan ook uit naar het gedrag van benzines in explosiemotoren. De bezetting van het laboratorium breidde zich uit van negen man bij de opening naar ongeveer dertig in 1920 en ongeveer driehonderd in 1929. In 1930 werd het zogenaamde 'Groot Laboratorium' gebouwd. Onderzoek werd gedaan naar de sterk asfalthoudende Venezolaanse aardoliën en naar toepassingen van de asfaltproducten en de kraakgassen. 'Dit wetenschappelijk werk werd niet alleen in het laboratorium verricht, doch voor een deel werd de hulp der universiteiten ingeroepen, waarmede een nauw contact wordt onderhouden', vermeldt het *Chemisch Weekblad* in 1939.[52.] Al vroeg werkte het laboratorium voor een gedeelte van het researchwerk samen met universiteitshoogleraren. In 1928 werd Wibaut adviseur voor organische chemie, Scheffer voor fysische chemie en Waterman voor chemische technologie. Wibaut onderzocht de fysische eigenschappen van zuivere koolwaterstoffen. In 1928 werd in Delft een proefstation gesticht met als voornaamste doel de factoren die de bruikbaarheid van dieselbrandstoffen bepalen aan een onderzoek te onderwerpen. Toen in 1939 het Amsterdamse laboratorium sterk werd uitgebreid, vooral wat betreft het researchwerk op zuiver wetenschappelijk gebied, werd nadrukkelijk opgemerkt: 'Het nieuwe research-laboratorium zal een tempel der wetenschap worden, waar toegewijde dienaren zich met fundamenteele onderzoekingen op het gebied der natuurkundige en scheikundige wetenschappen en der techniek bezighouden'.[53.]

In 1927 werd op het Amsterdamse laboratorium de afdeling 'chemie' opgericht, waar de belangstelling vooral uitging naar 'nieuwe' processen als hydrogeneren, dehydrogeneren, cycliseren, alkyleren, isomeriseren en polymeriseren. Onder de bezielende leiding van Adrianus Johannes van Peski begonnen daar talrijke bekende chemisch-technologen hun loopbaan. Onder hen waren promovendi van Waterman (J.N.J. Perquin, 1929; H.A. van Westen, 1931; J.C. Vlugter, 1932), van Scheffer (J. Smittenberg, 1931; H. Hoog, 1940) en van Van Arkel (G.C.A. Schuit, 1938). Van 1927-1964 was Hendrik Willem Slotboom (1904-1996) in dienst van het laboratorium, waarvan hij in 1949 algemeen onderzoeksdirecteur werd. Medio 1929 was Johann Philip Pfeiffer (1889-1947) in dienst gekomen voor de studie van asfalt. In 1941 merkte deze in een overzicht over 'het werk van het laboratorium van de N.V. de Bataafsche Petroleum Maatschappij onder de huidige tijdsomstandigheden' op: 'Bij de onderzoekingen betreffende diverse chemische procédé's, die te Amsterdam bestudeerd werden, vormden de bereiding en de toepassing van katalysatoren een belangrijk studie-object'.[54.]

Staatsmijnen/DSM

Bij de Staatsmijnen is het georganiseerde wetenschappelijk onderzoek aanvankelijk slechts langzaam gegroeid.[55.] Na de bouw van de cokesfabriek Emma (1919) werd op het terrein van dit bedrijf een laboratorium voor bedrijfscontrole opgericht. Het laboratorium kreeg tevens de taak van centraal laboratorium voor de Staatsmijnen en hield zich naast het oplossen van analytische problemen en bedrijfsservice bezig met wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de cokesbereiding en gaszuivering. In 1928 werd Honoré Alphonse Joseph Pieters (1896-1973), een leerling van de Delftse analyticus C.J. van Nieuwenburg, chef van dit laboratorium.

Door hem en Hendrik Koopmans werd interessant onderzoek verricht over de geschiktheid van de verschil-

lende Limburgse kolen voor de bereiding van metallurgische cokes. Samen met D.W. van Krevelen schreef Pieters het boek *The wet purification of coal gas and similar gases by the Staatsmijnen-Otto-Process* (1946). Ook op het Stikstofbindingsbedrijf van de Staatsmijnen te Lutterade/Geleen, dat in 1929 operationeel werd, kwam een bedrijfslaboratorium, waar tevens onderzoek werd verricht over kunstmestproducten afgeleid van ammoniak. Chef van dit laboratorium werd Gerrit Berkhoff (1901-1996), een leerling van F.A.H. Schreinemakers (Leiden)[56.] en later de eerste rector magnificus van de Technische Universiteit Twente.

Het duurde tot 1939 eer begonnen werd met de bouw van een nieuw researchlaboratorium, waarin alle chemische en fysische researchwerkzaamheden van de Staatsmijnen werden verenigd: het Centraal Laboratorium te Geleen. Berkhoff werd daarvan directeur, Pieters adjunct-directeur. In 1948 werd Berkhoff benoemd tot coördinator van de research en de proefbedrijven en Pieters tot chef van de veiligheidsdienst van de chemische bedrijven. Als researchdirecteur van het Centraal Laboratorium werd Berkhoff opgevolgd door de eerder genoemde Van Krevelen. Op het Centraal Laboratorium werd vooral gewerkt aan steenkoolonderzoek, ammoniaksynthese en kunstmeststoffen afgeleid van ammmoniak. Voorts aan de proceschemie van een groot aantal producten afgeleid van cokesovengas en steenkoolteer en aan een groot aantal synthetische organische chemicaliën. Hiermede werd de basis gelegd voor het chemische DSM concern, dat later - na de geleidelijke sluiting van de kolenmijnen - tot een van de pijlers uitgroeide van de Nederlandse chemische industrie. Uiteraard groeide ook het Centraal Laboratorium na 1950 in snel tempo en werd één van de grote laboratoria van ons land.

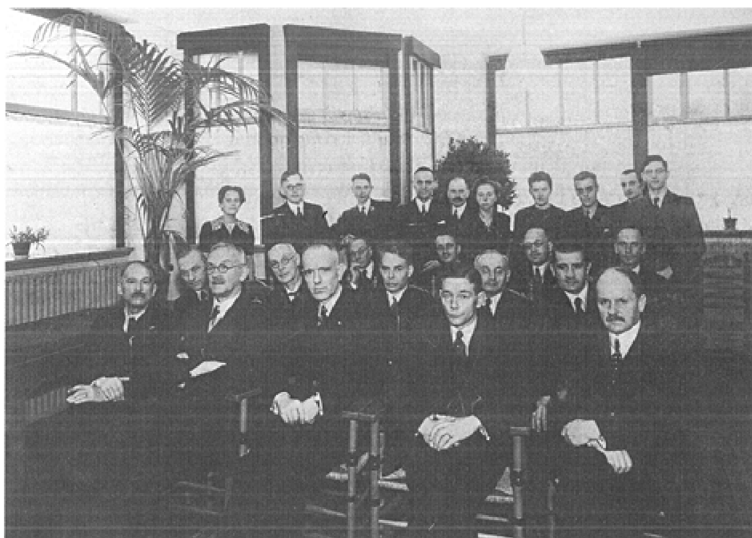
Andere grote Nederlandse ondernemingen die voor de Tweede Wereldoorlog met toegepast chemisch onderzoek begonnen, waren o.a. de Algemeene Kunstzijde Unie (1925), N.V. Koninklijke Stearinekaarsenfabrieken ‘Gouda-Apollo’ (1925) en N.V. Koninklijke Industrieele Maatschappij Noury en van der Lande (1926).

AKU (Algemeene Kunstzijde Unie)

AKU, begonnen als Nederlandsche Kunstzijdefabriek in 1911 (de naam AKU ontstond na een fusie met de Duitse Vereinigte Glanzstoff Fabriken AG in 1929), deed vanaf 1925 research- en ontwikkelingswerk in een zelfstandig laboratorium en een daarmee verbonden proeffabriek. Na de acquisitie van de Hollandsche Kunstzijde Industrie HKI in 1932 werd al het centrale onderzoekswerk ondergebracht in het ‘N.V. Onderzoekingsinstituut Research’, het latere Centraal Research Instituut te Arnhem.[57.] Bekende directeuren in de beginperiode waren Johannes Gerardus Weeldenburg (1901-1959), een promovendus van Böeseken (1927) en Hendrik Leendert Bredée (1904-1994), die in 1928 bij Cohen was gepromoveerd.[58.] In de periode 1943-1966 werd het fundamentele onderzoek op het gebied van natuurlijke en kunstmatige textielvezels uitgevoerd op het ‘Instituut voor Cellulose-Onderzoek’ te Utrecht, een vrijwel zelfstandige afdeling van het Centrale Research Instituut. Directeur hiervan was Petrus Hendrik Hermans.

Unilever.

Van de vijf grootste ondernemingen op chemisch gebied begon alleen Unilever pas



XXVI. Officiële opening van het Instituut voor Cellulose-Onderzoek te Utrecht (februari 1943). Op de derde rij rechts dr. ir. P.H. Hermans; achter hem zijn naaste medewerkers dr. J.J. Hermans en dr. D. Vermaas. Voorts zien we verschillende Utrechtse hoogleraren: H.R. Kruyt en de rector-magnificus, de geoloog L.M.R. Rutten (eerste rij, tweede en vijfde van links), J.M. Bijvoet en F. Kögl (tweede rij, derde en vijfde van links) en de fysicus J.M.W. Milatz (derde rij, derde van links). Aanwezig waren topfiguren van de toenmalige Algemene Kunstzijde Unie: de directeur prof. dr. ir. I.P. de Vooys en de president-directeur dr. ir. van Schaik (eerste rij, eerste en derde van links) en directeuren van AKU-research: ir. G.A.M. Heim (eerste rij, vierde van links), dr. H.L. Bredée en dr. ir. J.G. Weeldenburg (vierde rij, vierde en achtste van links).

na de oorlog met een apart researchlaboratorium in ons land. Het (centrale) Unilever Research Laboratorium te Vlaardingen dateert van 1955 en is ontstaan uit een kleine researchgroep bij de Verenigde Oliefabrieken te Zwijndrecht, waar Hendrik Albert Boekenoogen (1902-1971) sinds 1947 de leiding aan gaf. Boekenoogen, een leerling van L.S. Ruzicka in Utrecht, was op 7 oktober 1930 bij N. Schoorl in Utrecht gepromoveerd op *Koolstofringen met 8, 15 en 30 ringatomen*. In 1931 was hij als researchchemicus in dienst gekomen van de N.V. Oliefabrieken T. Duyvis Jz. te Koog aan de Zaan.[59.] Jan Boldingh (*1915), een promovendus van Kögl in Utrecht (1942), die vanaf 1944 als researchchemicus en later directielid bij Unilever Research werkte, schreef in zijn memoires: ‘Terugblikkend kan geconstateerd worden dat Unilever juist op tijd kwam; tot aan circa 1950 stond lipide-onderzoek nog in het teken van de ‘Schmier-chemie’ wegens de analytische ontoegankelijkheid van de homologe hydrophobe bouwstenen van vetten en oliën die in welhaast oneindige variatie in natuurlijke vetbronnen voorkomen’.[60.]

In zijn overzicht over de scheikunde in het interbellum, stelde Kruyt vast: ‘Buiten de grote centra aan universiteiten en hogescholen zijn er een aantal chemici, die belangrijk hebben bijgedragen tot de beoefening der chemie in Nederland. Vermeld mogen worden A.W.K. de Jong, die de organische chemie van natuurstoffen onderzocht, P.H. Hermans, wiens werk op het gebied van de cellulose en zijn derivaten ligt en R. Houwink, die belangrijk werk gedaan heeft op het gebied der kunstharsen’.[61.]

Anne Willem Karel de Jong (1871-1948), die op 20 maart 1900 bij Ed. Mulder in Utrecht was gepromoveerd op de *Inwerking van brandigdruivenzuur op brandigdruivenzuurammonium*, deed landbouwkundig werk in het agricultuurchemisch laboratorium te Buitenzorg. Hij was van 1923-1928 directeur van het rubberproefstation in Medan op Sumatra, waar hij onderzoekingen uitvoerde over de organische scheikunde van de daar voorkomende natuurstoffen.

Roelof Houwink (1897-1988) had in Delft gestudeerd en was op 18 mei 1934 bij G. van Iterson jr. gepromoveerd op het proefschrift *Physikalische Eigenschaften und Feinbau von Natur- und Kunstharzen*. Hij was scheikundig ingenieur bij Vredenstein in Loosduinen (1922), technoloog bij de Rijksrubberdienst te Delft (1924) en scheikundig ingenieur bij Philips (1925-1939), waarna hij directeur-generaal van de Rubberstichting te Delft werd. In 1941 werd hij toegelaten als privaatdocent aan de Technische Hogeschool te Delft met als leeropdracht de ‘chemie en technologie der macromoleculaire stoffen’.[62.] Nadat de productie van fenolformaldehydeplastics (bakeliet) in 1910 in Duitsland en de Verenigde Staten was begonnen, kreeg het product door de goede isolerende eigenschappen snel de aandacht van de elektrotechnische industrie. In 1925 begon Philips de productie zelf ter hand te nemen en werd daardoor een belangrijke pionier op het gebied van de kunststoffen in ons land. Technisch directeur van de Philite (bakeliet) fabriek werd Houwink, die als directeur-generaal van de Rubberstichting na de Tweede Wereldoorlog een krachtige stimulans gaf aan de kunststoftechnologie in ons land.

Tenslotte Petrus Hendrik Hermans (1898-1979), die na zijn studie en promotie in Delft bij Böeseken (1924) een loopbaan in de industrie begon, die zeventien jaar duurde.[63.] Van 1925 tot 1942 was hij chemicus, productiechef en bedrijfsleider en tenslotte hoofdingenieur bij de N.V. Hollandsche Kunstzijde Industrie in Breda, waar

hij zich met succes bezighield met verbeteringen in de chemische technologie van het viscoseproces. Hij wist belangrijke verbeteringen aan te brengen in de gelijkmatigheid en de kwaliteit van de productie en nieuwe garentypen tot ontwikkeling te brengen. Dank zij hem werden tal van kinderziekten in de nog jonge kunstzijde-industrie overwonnen. Met zijn medewerkers Paul Platzek (*1915) en Dirk Vermaas deed hij fundamenteel onderzoek van de uit viscose geregeneerde hydraatcellulose. De Tsjech Platzek promoveerde daarmee op 9 oktober 1939 in Utrecht op het proefschrift *Versuch einer quantitativen Analyse der Doppelbrechungserscheinungen an orientierter Hydratzellulose*; Vermaas promoveerde op 11 juli 1941 op *Deformatie en oriëntering van nitrocellulosegelen*. Promotor van beiden was Kruyt.

In 1942 ging Hermans naar Utrecht, waar hij tot zijn pensioen in 1963 directeur was van het Instituut voor Cellulose-Onderzoek, een afdeling van het centraal research instituut van de Algemeene Kunstzijde Unie (AKU) te Arnhem. Hier deed hij fundamenteel onderzoek aan cellulose, samen met zijn medewerkers Vermaas, Jan Joop Hermans (*1909), de latere hoogleraar fysische chemie in Groningen (1946) en Leiden (1953), Alexander Wėidinger (1906-1962), die in het begin van de dertiger jaren medewerker was van Hans Pringsheim aan het Chemisch Instituut van de Universiteit van Berlijn en daarna met Katz in Amsterdam samenwerkte en Derk Heikens (*1921), later hoogleraar polymeerchemie in Groningen (1963) en chemische technologie aan de TH Eindhoven (1965-1986). De resultaten van het onderzoek werden in twee monografieën neergelegd: *Contribution to the Physics of Cellulose Fibres; study in sorption, density, refractive power and orientation* (1946) en *Physics and chemistry of cellulose fibres; with particular reference to Rayon* (1949). Na 1953 werd vooral aan geheel synthetische polymeren gewerkt.

De Nederlandse chemische industrie

Over de geschiedenis van de chemische industrie in ons land is betrekkelijk weinig geschreven. Het jubileumnummer van het *Chemisch Weekblad* uit 1928 is geheel gewijd aan de chemische industrie in ons land[64.]; het jubileumnummer van 1953 bevat een groot artikel over 'de historische ontwikkeling van de Chemische Industrie in Nederland'.[65.] Op 17 mei 1943 promoveerde Paulus Simon Pels bij Kruyt in Utrecht op *Een economisch-statistisch onderzoek naar de chemische industrie in Nederland*. Uit zijn 'onderzoek naar de in- en uitvoer van chemische producten' kwam Pels tot de conclusie dat ons land 'met zijn chemische industrie in het internationale ruilverkeer een belangrijke plaats inneemt' en daardoor voor onze 'volkshuishouding' van grote betekenis was.[66.] In 1958 publiceerde Hendrik Koopmans die, na werkzaam te zijn geweest bij de Cokesfabriek Emma, de Kempensche Zinkmaatschappij en de Fabriek van Chemische Producten Vondelingenplaat, van 1956 tot aan zijn pensionering in 1972 directeur was van de chemische afdeling van het Centraal Instituut voor Industrie-ontwikkeling, een chronologisch overzicht van onze chemische industrie; in 1967 gevolgd door het boek *Vijftig jaar scheikundige nijverheid in Nederland*.[67.] Onze kennis van de historische ontwikkeling van de chemische technologie in ons land is fundamenteel gewijzigd met de publicatie van de zesdelige *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890*

(1992-1995), dat ook uitvoerig aandacht besteed aan onze chemische industrie in de negentiende eeuw.[68.] Een overeenkomstige serie is voor de twintigste eeuw in voorbereiding. Een eerste belangrijke karakteristiek over de chemische industrie in deze eeuw is reeds gegeven door Ernst Homburg - die in 1993 in Nijmegen promoveerde op het proefschrift *Van beroep 'Chemiker'. De opkomst van de industriële chemicus en het polytechnisch onderwijs in Duitsland (1790-1850)* - in een artikel over 'de overgang naar een moderne chemische industrie'.[69.]

Op 26 juni 1959 hield Hein Israel Waterman zijn afscheidscollege als hoogleraar in de chemische technologie aan de Technische Hogeschool te Delft. Hij sprak over de 'ontwikkeling van de chemische industrie en het chemisch technisch onderzoek' en begon met vast te stellen: 'Nog omstreeks het einde van 1918 en het begin van 1919, dus het tijdvak juist na de Eerste Wereldoorlog, werden er in de chemische industrie in Nederland over het algemeen slechts eenvoudige chemische bewerkingen toegepast. In dit opzicht onderscheidde zij zich sterk van chemische industrieën in de buurlanden, zoals de bedrijven der Badische Anilin und Sodafabrik in Duitsland, die op hoog technisch niveau stonden. In deze organisatie, een belangrijk onderdeel van de latere I.G.-Farben en de hiermede verwante maatschappijen, werden namelijk reeds tal van kleurstoffen, farmaceutische producten en andere chemicaliën langs synthetische weg bereid; zelfs konden er in die tijd al verschillende syntheses onder de gewenste hoge druk worden uitgevoerd, zoals de bereiding van ammoniak volgens het Haber-Bosch-proces'.[70.]

Reeds eerder - in 1928 - had Waterman 'eenige algemeene beschouwingen over de chemische industrie van Nederland' gegeven. Hij wees op de bijzondere plaats van ons land als belangrijk centrum voor handel en verkeer, die tot de vestiging van belangrijke industrieën heeft geleid. Voorbeelden zijn de superfosfaat- en zwavelzuurfabrieken (Albatros Superfosfaatfabrieken N.V.; N.V. Koninklijke Zwavelzuurfabrieken Ketjen) en de stikstofmeststoffenindustrie (Maatschappij tot Exploitatie van Kooksovengassen MEKOG; Compagnie Neérlandaise de l'Azote). Hij merkte daarbij op: 'Tot dusver was het karakteristieke van de Hollandsche industrie minder het synthetische dan wel het winnen, reinigen en verwerken van producten, die als zoodanig reeds aanwezig waren en bij de verwerking slechts geringe veranderingen in chemisch opzicht behoefden te ondergaan'.[71.] Als voorbeelden noemde hij in een later overzicht: 'de industrieën van oliën en vetten, aardolieproducten, suiker, stroop, jam, biscuit en chocolade, aardappelmeel, glucose, dextrine, textiel, kunstzijde, papier, zuivelproducten, zwavelzuur en superfosfaat, verder de gistingsbedrijven, gasen cokesfabrieken, waterreiniging en verschillende andere groepen'.[72.]

De mening dat de chemische industrie in ons land in het begin van deze eeuw nauwelijks van betekenis was, wordt door Watermans opsomming duidelijk tegengesproken. Weliswaar werd hier niet op grote schaal zwavelzuur en soda bereid zoals in Engeland en zeker niet kleurstoffen en geneesmiddelen zoals in Duitsland, maar dat wil niet zeggen dat hier geen chemische industrie was, integendeel. Homburg heeft aangetoond, dat al in de loop van de negentiende eeuw de chemische industrie in ons land zich zeer sterk in de breedte heeft ontwikkeld.[73.] Gerrit Hondius Boldingh, de Amsterdamse hoogleraar in de toegepaste scheikunde, merkte op 14 april 1917 in

een voordracht voor het Nederlandsche Natuur- en Geneeskundig Congres in Den Haag op: 'Het is slechts noodig eene kleine opsomming te maken van bekende industrieën op chemisch gebied, om aan te toonen, dat zij hier te lande respectabele afmetingen kunnen bereiken, hun producten over de geheele wereld plaatsen en finantieel uitstekende resultaten afwerpen; een bewijs, dat zij ook uit oogpunt van chemisch bedrijf zeker niet bij dergelijke ondernemingen in het buitenland achter staan'.[74.] Uitvoerig ging Hondius Boldingh in zijn voordracht in op zijn plannen voor een kleurstoffenfabriek. Tegen het eind van 1915 begon er vrij plotseling een gebrek te ontstaan aan kleurstoffen voor de textielnijverheid. Hondius Boldingh kwam tot de conclusie, dat er in Nederland en in Nederlands-Indië een zeer groot afzetgebied was, zowel voor kleurstoffen als voor de tussenproducten. Hij wilde zich echter beperken tot de 'fabricage van anilineolie in oorlogstijd, als begin voor latere stelselmatige uitbreiding'[75.] en wilde dit onderbrengen bij de N.V. Chemische Fabriek Naarden (opgericht in 1905), waaraan hij als commissaris was verbonden. Naarden zou worden uitgebreid en aan de bestaande afdelingen voor glycerinedestillatie, kummeloliedestillatie [het specerijgewas karwij], sacharinebereiding en reukstoffen-fabricage en bereiding van sulfieten zou een nieuwe afdeling, namelijk een anilinefabriek worden toegevoegd. De financiën zouden afkomstig zijn van de Nederlandsche Handelmaatschappij. In de tweede helft van 1916 werd met de anilinefabricage een aanvang gemaakt.

Veel succes heeft Hondius Boldingh overigens met zijn initiatief niet gehad. Al in 1919 constateerde hij: 'Zijn er hier te lande nu ook kleurstoffen gemaakt, die als zoodanig werden gefabriceerd en verkocht? Te Pernis en te Naarden is men daaraan niet toegekomen; men is bij de tusschenproducten blijven staan. Het zou mij te ver voeren, als ik daarvan hier de redenen geheel uiteenzette. Het voornaamste was wel, dat er al werk genoeg was en dat, wat er noodig was, zij het ook tegen fancyprijzen, uit Duitschland werd ingevoerd. Bovendien was te Delft reeds een kleurstoffenfabriek gevestigd, de Nederlandsche Verf- en Chemicaliënfabriek, die tot nog toe de tusschenproducten uit Duitschland kreeg'.[76.]

Hondius Boldingh trok deze conclusie in een voordracht over de 'chemische industrie in Nederland', die hij op 21 januari 1919 voor het Delfts Technologisch Gezelschap hield. Hierin gaf hij voor de studenten een overzicht van 'eenige Nederlandsche industrieën, die onderling samenhangen'[77.], zoals de productie van cokes in Zuid-Limburg met het daarbij verkregen teer en ammoniakwater en gassen waarin koolwaterstoffen voorkomen.

In zijn voordracht pleitte Hondius Boldingh tot samenwerking 'tusschen de verschillende fabrieken, die hier te lande bestaan en elkaar bij hun productie noodig hebben, om te zamen tegenover binnen- en buitenland als een eenheid van groot produceerend vermogen te kunnen optreden' en vooral samenwerking 'tusschen de inrichtingen van onderwijs te Delft en te Amsterdam. Daarop te wijzen is een van de redenen geweest, waarom ik gaarne de uitnoodiging tot deze voordracht heb aangenomen'.[78.] Maar, aldus besloot hij zijn voordracht, 'voor het welslagen van de Nederlandsche chemische industrie is veel meer noodig dan samenwerking, want we hebben op te tornen tegen een geheele wereld van buitenlandsche vijanden. We moeten dus in de combinatie van chemische industrieelen trachten te vereenigen de eigenschappen, die 't buitenland op ons vóór heeft en dus komen tot een samenwerking

van Nederlanders met:

> Duitsche volharding,
> Engelsche koopmanschap,
> Amerikaansche durf,
> Franschen geest en
> Nederlandsche wetenschappelijkheid.

Als we dat bereikt hebben, maar ook alleen dan, zal Nederland op chemisch gebied niet meer zijn een quantité négligeable, zooals het dat vóór den oorlog was'.

Omstreeks dezelfde tijd werd ingezien dat onze bodem tal van voor de chemische industrie bruikbare grondstoffen bevat. Op 4 juni 1912 wees Alphons Steger, hoogleraar in de chemische technologie aan de Technische Hogeschool te Delft, in zijn inaugurele oratie *De toekomst der chemische industrie in Nederland*, op de grote mogelijkheden voor de ontwikkeling van de chemische industrie, die ons land in zijn bodemschatten bezit. 'In twee gedeelten toch van onze provincie Limburg, in het zuidelijk deel tusschen Sittard en Simpelveld en in de z.g. Limburgsche Peel werden verschillende steenkolensoorten met onafwijsbare zekerheid in groote hoeveelheden aangetoond, terwijl in den Gelderschen Achterhoek uitgestrekte steenzout- en niet onbelangrijke kalizoutlagen werden aangeboord'.[79] Zeven jaar later, in februari 1919, schreef de geoloog Johan van Baren (1875-1933), hoogleraar aan de Landbouwhogeschool te Wageningen, voor het *Chemisch Weekblad* een artikel over 'de chemische industrie en de mineralenrijkdom van den Nederlandschen bodem'.[80] Hij wees erop, dat hier niet alleen sprake is van een algemene belangstelling voor 'wat voor de chemische industrie belangrijks de Nederlandsche bodem in zijn schoot herbergt', maar ook een 'door den nood der tijden geborene' belangstelling. 'De economische toestanden, zooals die nu een ieder bekend zijn, zij zullen ons blijven dwingen te letten, op al, wat aan de chemische industrie van ons vaderland ten goede kan komen; zij zullen ons blijven noodzaken, om te zien naar al, wat wij aan bruikbaar materiaal in den Nederlandschen bodem zelf bezitten'.[81]

Van Baren wees op de zink-, lood- en ijzerertsen, de steen- en bruinkolen, de bouwmaterialen (kalk en kalksteen) en de voor de glasindustrie belangrijke producten (wit, ijzervrij zand in de omgeving van Heerlen), die in de bodem van Zuid-Limburg voorkomen. Voor Noord-Limburg en Noord-Brabant op steenkolen (vooral zuidelijk van de spoorlijn Venlo naar Eindhoven) en grijze kleilagen (voor de pannenfabricage). Voorts op witte, glimmerhoudende kwartszanden (voor de fabricage van groen glas en kalkzandsteen) en tenslotte op moeraskalk (een grijs, uiterst fijn, kalkrijk zand). In Oost-Nederland vinden we eveneens steenkolen, maar hier zijn van meer betekenis de steenzoutlagen (bij Winterswijk en tussen Buurse en Hengelo). Voorts treffen we er kalksteen (omgeving Winterswijk), klei (voor de pannenen steenfabricage), moeraskalk en fosforieten aan. Aan het slot van zijn overzicht vroeg Van Baren zich af 'of de belangstelling onzer chemici in voldoende mate is gespitst op wat onze bodem aan nuttige delfstoffen bezit. [...] Hoe intensiever onze bodemschatten ontgonnen worden, des te economisch sterker zal Nederland staan'.[82]

79 A. Steger, *De toekomst der chemische industrie in Nederland* (Amsterdam, 1912), p. 1
80 J. van Baren, *Chemisch Weekblad* 16(1919)254-264. Vgl.: W.C.H. Staring, *De bodem van Nederland*. 2de, geheel nieuw bewerkte druk door J. van Baren (Amsterdam, 1908) en het *Eindverslag over de onderzoekingen en uitkomsten van den dienst der Rijksopsporing van delfstoffen in Nederland 1903-1916* (Amsterdam, 1918)
81 J. van Baren, *Chemisch Weekblad* 16(1919)254
82 J. van Baren, *Chemisch Weekblad* 16(1919)264

In het algemeen was men in het begin van deze eeuw pessimistisch over de toekomst van onze chemische industrie. Sebastiaan Hoogewerff, die grote verdiensten heeft

gehad voor de ontwikkeling van onze chemische industrie, maakte zich daar in 1904 met zijn Utrechtse collega Ernst Cohen grote zorgen over. Het hoofdbestuur van de Maatschappij van Nijverheid had in oktober 1903 aan de departementen een vragenlijst toegezonden betreffende de Nederlandse chemische industrie en aan de stearinekaarsenfabrikant dr. H. IJssel de Schepper en de hoogleraren S. Hoogewerf en E. Cohen gevraagd om 'eene samenvatting der gevolgtrekkingen, waartoe naar [hun] meening die antwoorden aanleiding geven'.[83] Hoewel de rapporteurs verre van enthousiast waren over de enquête, vooral omdat niet alle departementen de vragenlijst volledig hadden ingevuld, was het hen wel mogelijk de aandacht te vestigen 'op enkele omstandigheden, welke meer in het algemeen de ontwikkeling der chemische nijverheid belemmeren'.[84] Als 'oorzaken van den geringen omvang der Ned. chem. nijverheid' werd vooral gewezen op het ontbreken van grondstoffen in onze bodem voor de chemische grootindustrie en op de grote voorsprong van de Duitse chemische industrie, 'welke een voornaam beletsel is om hier eene zoodanige nijverheid tot ontwikkeling te kunnen brengen'. De rapporteurs waren daarbij van mening dat er 'een nauw verband bestaat tusschen het onderwijs en den grooten voorsprong der Duitsche of den achterstand der Nederlandsche chemische nijverheid'. In Duitsland had de chemische industrie - dank zij de in het begin van de eeuw opgerichte technische hogescholen - de beschikking over hoogopgeleide chemische en technische krachten. In ons land 'werd op zeer bescheiden wijze de Polytechnische school in 1863 gesticht, terwijl althans toen ter tijd het scheikundig onderwijs aan de universiteiten hier te lande zeer weinig voeling hield met de vraagstukken der chemische nijverheid'.[85] De schade die onze chemische industrie heeft opgelopen, enerzijds door gebrek aan grondstoffen, anderzijds door de grote voorsprong van de Duitse chemische industrie, was volgens hen slechts gedeeltelijk te herstellen. Acht jaar later was de boven genoemde Delftse hoogleraar Steger even pessimistisch als Hoogewerff en Cohen in 1904.[86]

In 1914 wees de Amerikaanse consul in Duitsland, de chemicus Thomas Herbert Norton, er aan de hand van een overzicht van onze chemische industrie op, 'daß die Anzahl der chemischen Unternehmungen in Holland trotz des relativen Mangels an natürlichen Hilfsquellen im Lande selbst eine verhältnismäβig groβe ist und daß die chemische Industrie des Landes trotz dieser ungünstigen Verhältnisse im Welthandel eine bedeutende Rolle spielt'.[87] Vijf jaar later, in februari 1919, constateerde Gerard Carel Adriaan van Dorp (1873-1964), directeur van de N.V. Sociëteit voor Chemische Industrie 'Katwijk' te Katwijk aan Zee: 'Gedurende de oorlogsjaren heeft de Nederlandsche Chemische Insdustrie zich zeer krachtig ontwikkeld. Bestaande fabrieken werden sterk uitgebreid, nieuwe opgericht, en allerwege werd met kracht gewerkt: eerst toen Duitschland uitgeschakeld werd voornamelijk voor den export naar overzeesche landen; later, toen het verkeer steeds moeilijker werd, in het bijzonder na het verklaren van den onbeperkten duikbootoorlog, kwam het werk voor het binnenland meer op den voorgrond. Tal van stoffen, waaraan in het dagelijksch leven dringend behoefte was, begonnen te ontbreken; wie in de bestaande behoefte voorzag was zeker loonend werk te vinden.

83 'Rapporten in zake chemische nijverheid', *Tijdschrift der Maatschappij van Nijverheid* 71(1904)469-491 (469)

84 *Tijdschrift der Maatschappij van Nijverheid* 71(1904)470

85 *Tijdschrift der Maatschappij van Nijverheid* 71(1904)482

86 H. IJssel de Schepper, S. Hoogewerff en E. Cohen, *Tijdschrift der Maatschappij van Nijverheid* 71(1904)469-491. Zie: E. Homburg, *Geschiedenis van de Techniek in Nederland*, deel IV, p. 259

87 T.H. Norton, *Die chemische Industrie in Belgien, Holland, Norwegen und Schweden* (Braunschweig, 1914), pp. 45-74(66)

Ook de eischen der landsverdediging gaven druk werk. Immers ten zeerste is het geweldige belang der chemische industrie voor de landsverdediging gebleken'.[88]

De vraag was natuurlijk wat na de oorlog 'de Nederlandsche chemische nijverheid

88 G.C.A. van Dorp, *Chemisch Weekblad* 16(1919)265-269 (265)

van de toekomst [zal] weten te maken?'. De schrijver kon daar natuurlijk moeilijk al een antwoord op geven. Negen jaar later constateerde Waterman in een overzicht van de toenmalige stand van de chemische industrie in ons land, dat daarvoor slechts een minimale chemische kennis vereist werd en dat men uit zijn overzicht 'wel zeer sterk den indruk [krijgt], dat bij tal van deze industrieën het synthetische element op den achtergrond staat'.[89] Dat gold voor de zwavelzuur- en superfosfaatindustrie, de industrie van de droge destillatie van steenkolen en de daarmee verbonden teerdestillatie en ammoniumsulfaatbereiding en recenter de steenkolennijverheid in Zuid-Limburg met cokesovenbatterijen, teerdestillatie en de winning van benzeen. Maar Waterman constateerde ook dat er de laatste tijd meer en meer aanwijzingen waren van een opkomst van de synthetisch-chemische nijverheid in ons land. Hij wees op vergevorderde plannen voor de winning van synthetische ammoniak en op de technologie van het ijzer door de Hoogovens te Velsen en voorts op de opkomende fabricage van kleurstoffen, reukstoffen en de tussenproducten van deze industrieën.

De Nederlandse chemische industrie uit het begin van de twintigste eeuw was op geen enkele manier te vergelijken met de hoog ontwikkelde chemische industrie in Duitsland. Daar bestonden al een aantal grote multinationals die chemisch onderzoek deden, terwijl in ons land de chemische industrie veel meer ambachtelijk was. Maar in de periode 1890-1918 ontstond in ons land geleidelijk een chemische industrie, die in belangrijke mate afweek van die uit de negentiende eeuw, die vooral gebaseerd was op extractieprocessen van landbouwgewassen en dierlijke producten, - logisch voor een land dat nauwelijks bodemschatten kende -, alsmede op de uit de koloniën afkomstige oliezaden en kinine. Homburg verklaart het ontstaan van een moderne chemische industrie in ons land in het begin van onze eeuw uit een drietal factoren. Allereerst de sterke toename van het aantal in de industrie werkzame chemici, waardoor in Delft opgeleide technologen en universitair gepromoveerde scheikundigen in de chemische industrie een betrekking konden vinden. Verder ontstonden er grote veranderingen op het gebied van de procestechnologie, met name een forse schaalvergroting, die gepaard ging met een nauwkeurige procesbeheersing. En voorts de overgang van kleinschalige, batchgewijze productieprocessen naar een continue productie en het werken onder extreme reactie-omstandigheden van druk en temperatuur. Tenslotte ontstond er een toenemende internationale gerichtheid van onze chemische industrie.[90]

In de periode tussen het begin van onze eeuw en het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog werden er in Nederlandse industrieën verschillende nieuwe chemische producten gefabriceerd: potas (Zuid-Nederlandsche Melasse-Spiritusfabriek te Bergenop Zoom, 1905), glycerine (N.V. Chemische Fabriek 'Naarden', 1905), actieve kool (N.V. Algemene Norit Maatschappij, 1908). De Maatschappij Oxygenium (later W.A. Hoek's Machine- en Zuurstoffabriek N.V.) in Schiedam produceerde sinds 1907 zuurstof uit lucht; de N.V. Electrozuur- en Waterstoffabriek te Amsterdam al vóór 1910 waterstof en zuurstof door elektrolyse van water. Philips volgde in 1915 met argon, het inerte vulgas in gloeilampen. In 1911 richtte Jacques Coenraad Hartogs (1879-1932), een leerling van Holleman[91], de Eerste Nederlandsche Kunstzijdefabriek (ENKA) in Arnhem op, waar in 1913 begonnen werd met de

89 H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 25(1928)378

90 E. Homburg, *Chemisch Magazine* december 1989, pp. 741-743 en januari 1990, pp. 31-34 en 'The History of the Dutch Chemical Industry', in: *The Anatomy of Chemical Holland. Special issue of Chemisch Magazine* (Rijswijk, 1986), pp. 16-22

91 J.C. Hartogs promoveerde op 24 mei 1910 bij Holleman op een *Quantitatief onderzoek over de monohalogeneering van phenol.*

fabricage van de eerste kunstzijdegaren in ons land. In 1919 werd in Breda de Hollandsche Kunstzijde

Industrie opgericht, die in 1929 de facto overgenomen werd door de ENKA. Dit bedrijf was in 1925 gefuseerd met het in 1899 opgerichte Duitse bedrijf Vereinigte Glanzstoffen Fabriken A.G. en in 1929 werd het concern omgedoopt tot de Algemeene Kunstzijde Unie (AKU).

Sterk stimulerend op de ontwikkeling van de Nederlandse chemische industrie heeft de Eerste Wereldoorlog gewerkt, vooral tengevolge van de blokkade van invoerproducten. Philips betrok sinds eind 1913 de argon, die hij nodig had als vulgas in gloeilampen, uit Duitsland. De fabriek van Linde te Wiesbaden leverde een mengsel van argon, stikstof en zuurstof, dat in Eindhoven langs chemische weg werd gezuiverd. De aanvoer stagneerde echter door de wereldoorlog. In 1915 richtte Philips daarom een eigen gasfabriek voor vloeibare lucht op, waaruit door destillatie de benodigde argon werd verkregen.

Steger en Hondius Boldingh wilden met hun plannen voor een chemische industrie een vermindering van de afhankelijkheid ervan van de landbouw bereiken. Tussen 1914 en 1917 werden niet minder dan 228 nieuwe chemische bedrijven opgericht en 352 ondernemingen breidden zich sterk uit.[92] Na de Eerste Wereldoorlog zien we een gestadige uitbreiding van het aantal producten en werd de grondslag gelegd voor de chemische en farmaceutische grootindustrie. Aan het eind van de Eerste Wereldoorlog begonnen de Staatsmijnen (DSM) hun chemische bedrijven (Cokesfabriek Emma), de N.V. Koninklijke Nederlandsche Hoogovens en Staalfabrieken werden in 1918 opgericht en de N.V. Koninklijke Nederlandsche Zoutindustrie kreeg in dat jaar een winningsconcessie. In 1923 begon de N.V. Organon in Oss met de productie van hormonen en een jaar later, in 1924, de N.V. Chemische Fabriek Gembo in Winschoten met de fabricage van waterglas voor de strokartonindustrie.

Rond 1930 kwamen grote chemische bedrijven op die voornamelijk gebaseerd waren op een drietal grondstoffen: steenkool, zout en aardolie. De in 1902 door de Nederlandsche Staat opgerichte Staatsmijnen bewogen zich in chemische richting door de bouw van de cokesfabrieken Emma (1918) en Maurits (1929).[93] Tot het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog voerde ons land jaarlijks ongeveer 100.000 ton chilisalpeter ($NaNO_3$) en 400.000 ton ammoniumsulfaat in, terwijl we zelf nauwelijks stikstofmeststoffen maakten. Alleen de verwerking van ammoniakwater, een bijproduct bij de gasfabricage, leverde, behalve ammoniak en kooldioxide, zwavelzure ammoniak. Die verwerking vond onder andere plaats bij de firma Van der Elst en Matthes in Weesperkarspel, die na 1920 tevens een van de belangrijkste importeurs werd van synthetische ammoniak uit Duitsland. De toenemende vraag naar stikstofmeststoffen leidde tot de oprichting van de N.V. Stikstofbindingsindustrie 'Nederland' te Dordrecht (1918), waar gewerkt werd volgens het cyaanamideproces. In 1920 brachten de Staatsmijnen ammoniumsulfaat, dat men overhield bij de cokesovengaswinning, op de markt. Gedurende de oorlogsjaren 1914-1918 en de jaren daarna zag men steeds meer het belang in om de voor onze landbouw onmisbare kunstmeststoffen zelf te maken, onafhankelijk van het buitenland. Die leidde in 1929 tot de bouw van het Stikstofbindingsbedrijf te Geleen.

In 1919 begon de het jaar tevoren opgerichte N.V. Koninklijke Nederlandsche Zoutindustrie met de ontginning van de zoutafzettingen bij Boekelo. Al in 1895 had men bij Delden ontdekt, dat een pomp geen zoet water, maar zout water naar boven bracht. Onderzoekingen leidden tot de gevolgtrekking, dat in de omgeving van Boe-

92 E. Homburg, *The anatomy of Holland*, p. 18

93 *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek bij gelegenheid van het vijftigjarig bestaan* (Heerlen, 1952); G. Berkhoff, 'In Memoriam Dr. Ir. D.P. Ross van Lennep. Leider van de Chemische Bedrijven van Staatsmijnen in Limburg', *Chemisch Weekblad* 45(1949)277-282

kelo grote zoutlagen in de bodem aanwezig waren. Het in 1918 verleende recht tot ontginning van de zoutlagen bij Boekelo, leidde tot een grootschalige chemische industrie met zout als grondslag. Eerst werd het zout gewonnen door indampen in ‘open pannen’; in 1927 ging men over op het vacuümsysteem. In 1931 werd een elektrolysebedrijf in Boekelo in werking gesteld, waarin uit het zout zoutzuur, chloor, natronloog en bleekwater werden bereid. Hierdoor kon 15000 ton chemische producten op de markt worden gebracht. In 1937 werd in Hengelo een nieuw zouten chemisch bedrijf geopend. De fabriek was klaar gelijktijdig met het nieuweTwente-Rijnkanaal, waarvan de aanleg geleid had tot het besluit de zetel en de hoofdzoutwinning te verplaatsen naar Hengelo (1933). Na de Tweede Wereldoorlog breidde het bedrijf zich uit met de productie van soda in Delfzijl (1952).[94] Wat de aardolie betreft, pas na de Tweede Wereldoorlog is er sprake van een grootschalige chemische industrie op basis van dit product.

Toen Waterman in 1953 opnieuw een overzicht samenstelde van de ontwikkeling van de chemische industrie en de chemische technologie uit de afgelopen vijfentwintig jaar, kon hij laten zien dat het synthetische element een steeds belangrijker plaats was gaan innemen en dat de chemische industrie in die periode daardoor grote veranderingen heeft laten zien.[95] Deze veranderingen begonnen met de stichting van de N.V. Koninklijke Nederlandsche Hoogovens en Staalfabrieken te Velsen in 1918 en vooral door de synthetische ammoniakbereiding, die in direct verband stond met de jonge steenkolennijverheid (Staatsmijnen) en met de hoogovens in ons land. Als voorbeelden van deze ontwikkeling wees Waterman allereerst op de anorganische kunstmeststoffen. Omstreeks 1910 waren er in ons land een zestal superfosfaatfabrieken. Op 1 juli 1915 kwam er een fusie tot stand tussen de Internationale Guano en Superphosphatwerken te Zwijndrecht (opgericht omstreeks 1894-1895), de Centrale Guanofabrieken te Kralingse Veer (Capelle aan de IJssel; opgericht tussen 1890 en 1893) en de fabriek van Van Hoorn, Luitjes en Kamminga te Groningen onder de naam N.V. Vereenigde Chemische Fabrieken, waar zich op 1 juli 1918 ook de Amsterdamsche Superfosfaatfabriek (opgericht in 1907) bij aansloot. Sinds 1948 staat het concern bekend als de Albatros Superfosfaatfabrieken. In 1920 werd de Eerste Nederlandsche Coöperatieve Kunstmestfabriek (ENCK) in Vlaardingen voor de fabricage van superfosfaat opgericht. Hiermede werd de superfosfaatindustrie in de twintiger jaren een van de belangrijkste op de wereldmarkt.

De ammoniaksynthese deed zijn intrede in ons land met de oprichting van een drietal fabrieken voor de productie van stikstofmeststoffen: de MEKOG te Velsen (Maatschappij tot Exploitatie van Kooksovengassen N.V., een bedrijf in 1929 opgericht door de N.V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij en de Hoogovens), het Stikstofbindingsbedrijf van de Staatsmijnen te Geleen (1930) en de Compagnie Néerlandaise de l'Azote te Sluiskil (1930). Alle drie bedrijven werden gevestigd naast cokesfabrieken.

Grote veranderingen zijn er ook opgetreden in de synthetische organisch-chemische industrie, vooral door de petroleumnijverheid. Hier kwamen door het kraakproces tal van synthetische organische producten ter beschikking. Maar het was vooral de industrie van de synthetische benzine, bereid uit steenkolen en bruinkolen door katalytische hydrogenering onder hoge druk, die de ontwikkeling

94 *Het zout der aarde. Samengesteld ter gelegenheid van het vijftigjarig bestaan van de NV Koninklijke Nederlandsche Zoutindustrie te Hengelo*. R.J. Forbes (red.) (Hengelo, 1968); ‘50 jaar K.N.Z.: 20 miljoen ton zout’, *Chemisch Weekblad* 64(1968), nr. 31, pp. 7-8; W. Wennekens, *De aartsvaders. Grondleggers van het Nederlands bedrijfsleven* (Amsterdam, Antwerpen, 1993), pp. 455-477

95 H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 49(1953)743-746

van katalytische processen sterk stimuleerde. De Staatsmijnen maakten reeds in 1939 alcohol en ether

uit de etheen in het cokesovengas, later gevolgd door de grootschalige productie van een lange reeks van synthetische organische stoffen, zoals ureum, melamine, ftaalzuuranhydride, fenol, cyclohexanol, cyclohexanon en caprolactam. Dit laatste product was van grote betekenis omdat het de grondstof werd van de eerste volledig synthetische vezel in ons land, namelijk de Enkalon-vezel (Nylon-6 of polycaprolactam), door de Algemeene Kunstzijde Unie geproduceerd te Emmen. De Koninklijke/Shell Groep legde zich toe op de bereiding van tal van ‘petrochemicals’.

Voortschrijdende concentratie

Opvallend in dit gehele ontwikkelingsproces zijn de concentraties van chemische industrieën tussen de beide wereldoorlogen. In 1927 fuseerden de twee grote kunstboterproducenten Antoon Jurgens (1867-1945) en Samuel van den Bergh (1864-1941) tot de Margarine Unie N.V. Ook Hartogs Olie en Margarinefabrieken in Oss en de Oliefabrieken Calvé in Delft namen aan de fusie deel. Twee jaar later kwam er een fusie tot stand tussen de Margarine Unie en het Britse Leverconcern, waardoor Unileverontstond.[96] Eerder is al vermeld hoe het AKU concern is ontstaan als concentratie in de chemische vezelindustrie. Deze concentratietendens zou zich tot het eind van de eeuw voortzetten.

Eindnoten:

1 H. Baudet, *De lange weg naar de Technische Universiteit Delft* (Den Haag, 1992), deel I, pp. 458-462
2 W.P. Jorissen, *Tijdschrift voor toegepaste scheikunde en hygiène* 5(1902)225-234 (233)
3 Over Hondius Boldingh: W.C. de Graaff, *Chemisch Weekblad* 15(1918)1602-1610; A.H.W. Aten, *idem* 33(1936)615-616
4. Over Waterman: *Chemisch Weekblad* 57(1961)89-90; C.J. van Nieuwenburg, in: *De Oogst. Een overzicht van het wetenschappelijk werk van prof. dr. ir. H.I. Waterman, te zamen gebracht ter gelegenheid van zijn aftreden als hoogleraar in de chemische technologie aan de Technische Hogeschool te Delft* [1959], pp. 9-14
5. Over Steger: J. van Loon, *Chemisch Weekblad* 34(1937)429-431
6. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)418-426 (418)
7. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)419
8. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)421
9. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)422
10. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)423
11. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)424
12. H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 15(1918)425. Vgl.: G. Somsen, ‘Hooge School en Maatschappij. H.R. Kruyt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving’, *Gewina. Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 17(1994)162-176
13. H.I. Waterman, ‘Proefnemingen op semi-technische schaal’, *Chemisch Weekblad* 25(1928)378-381
14. H.I. Waterman en C. van Vlodrop, ‘La destillation molèculaire ou la distillation à distance courte’, *La Revue de chimie industrielle* 49(1940)314-322
15. H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 55(1959)311-312

96 *Honderd Jaar Margarine 1869-1969.* Onder redactie van J.H. Stuyvenberg ('s-Gravenhage, 1969); W. Wennekens, *De aartsvaders. Grondleggers van het Nederlandse bedrijfsleven* (Amsterdam, Antwerpen, 1993), pp. 221-281

16. *Chemisch Weekblad* 57(1961)89
17. Over Vlugter: H. Verschoor, *Chemisch Weekblad* 67(1971), nr. 37, pp. 7-20 en F. Goudriaan e.a., *Chemisch Magazine* februari 1992, pp. 68-79. Zie ook: J.C. Vlugter, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993), pp. 65-87
18. J.C. Vlugter, H.I. Waterman en H.A. van Westen, *Chemisch Weekblad* 29(1932)226-232
19. J.C. Vlugter, H.I. Waterman en H.A. van Westen, 'Improved methods of examing mineral oils, especially the high boiling components', *Journal of the Institution of Petroleum Technologists* 21(1935)661-676
20. D.W. van Krevelen, in: *Werken aan scheikunde*, pp. 243-263; Van Krevelen en J. Schuyer, *Coal Science. Aspects of Coal Constitution* (Amsterdam, 1957). Vgl. Van Krevelen, 'Vijftig jaar steenkoolchemie', *Chemisch Weekblad* 49(1953)781-794
21. D.W. van Krevelen, 'Afscheidscollege', in: *In retrospect. Een keuze uit de voordrachten* (Amsterdam, 1980), p. 87
22. *De proeffabrieken voor physische en chemische technologie van de Technische Hogeschool te Delft. Realisate van de schenkingen aan het Hoger Onderwijs in Nederland gedaan door N.V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij (Koninklijke/Shell Groep)* (z.p., 1951), p. 7
23. Het overige derde deel werd toegewezen aan de Rijksuniversiteit te Leiden voor de modernisering van het Kamerlingh Onnes Laboratorium.
24. H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 55(1959)309-315
25. H.J. Backer, *Chemisch Weekblad* 49(1953)582
26. W.P. Jorissen, 'Het tachtigjarig bestaan der Nederlandse Gist- en Spiritusfabriek te Delft', *Chemisch Weekblad* 46(1950)617-618; B. Elema, *Honderd jaar gistresearch* (Delft, 1970); O. Amsterdamski, 'Beneficent microbes: The Delft School of microbiology and its industrial connections', in: *Beijerinck and the Delft school of microbiology*. Ed. P. Bos and B. Theunissen (Delft, 1995), pp. 193-213
27. J.F. Carrière, *Chemisch Weekblad* 40(1943)140-141; anoniem, *idem* 26(1929)206-207
28. G. de Clercq, 'Techniek en wetenschap', *Chemisch Weekblad* 15(1918)1530-1537 (1530)
29. G. de Clercq, *Chemisch Weekblad* 15(1918)1530
30. G. de Clercq, *Chemisch Weekblad* 15(1918)1531
31. E.S.A. Bloemen, 'Bezieling en 'esprit d'équipe'. Industriële research in Nederland in het interbellum', in: *Exercities in ons Verleden: twaalf opstellen over de economische en sociale geschiedenis van Nederland en koloniën: 1800-1950* (Assen, 1981), pp. 153-167; J.J. Hutter, *Toepassingsgericht onderzoek in de industrie. De ontwikkeling van kwikdamplampen bij Philips 1900-1940*. Dissertatie Eindhoven 1988, pp. 17-39 en 'Nederlandse laboratoria 1860-1940, een kwantitatief overzicht', *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 9(1986)150-174
32. N. Wiedenhof, *Chemisch Magazine* 1989, mei, pp. 317-319. Zie: *An Anthology of Philips Research*. Edited by H.B.G. Casimir and S. Gradstein (Eindhoven, 1966)
33. Gerards jongere broer Anton Frederik Philips (1874-1951) kwam in 1895 bij de firma om de commerciële kant van het bedrijf te behartigen.
34. F. Gerzon, *Nederland, een volk van struikrovers? De herinvoering van de Nederlandse octrooiwet (1869-1912)* (Den Haag, 1986)
35. Over Holst: E.J.W. Verwey, *Chemisch Weekblad* 64(1968), nr. 46, pp. 25 en 27; H.B.G. Casimir, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1968-1969, pp. 225-230; idem, *Philips Research Reports* 24(1969)161-167; idem, *Philips Technisch Tijdschrift* 40(1981-1982)125-132
36. A. Heerding, *The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken* (Cambridge, enz., 1988), deel II, pp. 214, 215, 312, 313
37. J.H. de Boer, *Chemisch Weekblad* 60(1964)273
38. *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland. Een overzicht van hetgeen in de laatste vijf jaren in Nederland verricht is op het gebied der natuurwetenschappen, der medische en der technische wetenschappen verzameld en uitgegeven door de Werkgemeenschap van Wetenschappelijke Organisaties in Nederland* (Amsterdam, 1942), p. 25
39. Over De Boer: E.J.W. Verwey, J.D. Fast en G.C.A. Schuit, *Chemisch Weekblad* 65(1969), juni, pp. 13-23; Verwey, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1971, pp. 88-93 en Verwey en Schuit in: *Physical and chemical aspects of adsorbents and catalysts dedicated to J.H. de Boer on the occasion of his retirement from the Technological University Delft, The Netherlands*. Ed. B.G. Linsen (Londen, New York, 1970), pp. XIII-XXIV
40. A.E. van Arkel, *Physica. Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde* 3(1923)76-78. Van Liempt promoveerde op 19 juni 1931 bij Willem Reinders in Delft op het proefschrift *De afscheiding van wolfraam uit gasvormige verbindingen en hare toepassing*.
41. J.H. de Boer en A.E. van Arkel, 'Die Trennung von Zirkonium und Hafnium durch Kristallisation ihrer Ammoniumdoppelfluoride', *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 141(1924)284-288; A.E. van Arkel en J.H. de Boer, 'Die Trennung des Zirkoniums von anderen Metallen, einschließlich Hafnium, durch fraktionierte Destillation', *idem* 141(1924)289-296

42. D. Coster en G. von Hevesy, ‘On the missing element of atomic number 72’, *Nature* 111(1923)79; D. Coster, *Chemisch Weekblad* 20(1923)122-123
43. G. Holst, *Industrielaboratoria*. Inaugurele rede Leiden 5 februari 1930 ('s-Gravenhage, 1930), pp. 10-11
44. A.E. van Arkel en J.H. de Boer, ‘Darstellung von reinem Titanium-, Zirkonium-, Hafnium- und Thoriummetall’, *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 148(1925)345-350
45. J.H. de Boer en J.D. Fast, ‘Über die Darstellung der reinen Metalle der Titangruppe durch thermische Zersetzung ihrer Jodide’, *Zietschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 153(1926)1-8. Vervolgartikelen van De Boer en Fast in *idem* 187(1930)177-192, 193-208 en van Fast alleen in *idem* 239(1938)145-154 en 241(1939)42-56
46. C.J. Dippel promoveerde op 28 juni 1929 bij Backer op een proefschrift *Over α- en β-pentaan-2,4-diamine en enkele hunner complexe rhodium- en kobaltzouten*.
47. J.Th.G. Overbeek en G.W. Rathenau, *Chemisch Weekblad* 63(1967)3-7; H.J. Vink, *Jaarboek der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1981-1982, pp. 167-177
48. J.H. de Boer, H.C. Hamaker en E.J.W. Verwey, ‘Electro-deposition of a thin layer of powdered substances’, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas* 58(1939)662-665
49. A.J. Staverman, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), p. 177
50. Vgl.: H.J. Vink, ‘Bijdragen van het Philips’ Natuurkundig Laboratorium tot de chemie van de vaste stof', *Philips Technisch Tijdschrift* 25(1963)183-205
51. *N.V. Koninklijke Nederlandsche Petroleum Maatschappij 1890 - 16 Juni - 1950. Gedenkboek uitgegeven ter gelegenheid van het zestigjarig bestaan*. ('s-Gravenhage, 1950), pp. 153-170
52. ‘Het laboratorium van de Bataafsche’, *Chemisch Weekblad* 36(1939)296-298 (298). Zie ook: *Research aan het IJ. LBPMA 1914 - KSLA 1989. De geschiedenis van het ‘Lab Amsterdam’, Uitgegeven ter gelegenheid van het 75-jarig bestaan van het Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam op 24 februari 1989*. Ed. J.H. Schweppe (Baarn, 1989)
53. *Chemisch Weekblad* 36(1939)298
54. J.Ph. Pfeiffer, *Chemisch Weekblad* 38(1941)454-457 (455)
55. *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek bij gelegenheid van het vijftigjarig bestaan* (Heerlen, 1952), pp. 237-243
56. G. Berkhoff promoveerde op 12 april 1929 bij Schreinemakers over *Osmose van ternaire vloeistoffen*.
57. *A.K.U. ENKA. Gemenebest van Ondernemingen* (ca 1964) en D. Vermaas, *Research bij AKU* (z.p., 1968)
58. J.G. Weeldenburg, *De inwerking van natronloog op zwavel-koolstof*. Dissertatie Delft 28 maart 1927; H.L. Bredée, *Gasdilatometrisch onderzoek van chemisch en physisch zuivere stoffen*. Dissertatie Utrecht 19 november 1928.
59. *Chemisch Weekblad* 67(1971), nr. 46, pp. 25-26. Vgl.: H.A. Boekenoogen, *De scheikunde der oliën en vetten* (Utrecht, 1948)
60. J. Boldingh, in: *Werken aan scheikunde* (Delft, 1993), p. 271. Boldingh was op 29 juni 1942 bij Kögl gepromoveerd op *Synthetische onderzoekingen over het chromofore systeem van lumi-auxon*.
61. H.R. Kruyt, in: *Geestelijk Nederland 1920-1940*. Onder redactie van K.F. Proost en Jan Romein (Amsterdam, Antwerpen, 1948), deel I, pp. 232-233
62. R. Houwink, ‘Macromoleculaire stoffen in natuur en techniek. Openbare les 19 januari 1942’. *Chemisch Weekblad* 39(1942)42-48
63. D. Vermaas, *Chemisch Weekblad* 45(1949)181-183; G. Challa en D. Heikens, *idem* 59(1963)177-179; Chr. J. Maas, *idem* 70(1974), 15 maart, p. 5 en D. Heikens en G. Challa, *idem* 75(1979), 6 april, p. 2. De schrijver dankt prof. dr. D.W. van Krevelen voor de uitvoerige informaties over Hermans die hij heeft verschaft (briefwisseling 4 en 27 februari en 14 april 1994). Vgl.: H. Klare, *Geschichte der Chemiefaserforschung* (Berlin, 1985)
64. *Chemisch Weekblad* 25(1928)377-480
65. *Chemisch Weekblad* 49(1953)594-609
66. P.S. Pels, *Een economisch-statistisch onderzock naar de chemische industrie in Nederland*. Dissertatie Utrecht 1943, p. 13. Pels onderzocht in zijn proefschrift de kunstmeststoffenindustrie, de superfosfaatindustrie, de stikstofindustrie en de zwavelzuurindustrie. Het proefschrift was in Rotterdam bewerkt onder leiding van Jan Tinbergen.
67. H. Koopmans, *Chemisch Weekblad* 54(1958)481-488; *Vijftig jaar scheikundige nijverheid n Nederland* (Delft, 1967). Zie ook: ‘De chemische industrie in negentienhonderddrie’, *Chemisch Weekblad Magazine*, juli 1979, pp. 354-358. Zie ook: G.A. van Haeften, *De chemische industrie in Nederland* (Den Haag, 1965)
68. H.W. Lintsen e.a. (red), *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890* (Zutphen, 1992-1995). Deel IV (1993) bevat een gedeelte over ‘chemie’ van E. Homburg, J.H. de Vlieger, J.W. Schot en E.A.M. Berkers (pp. 149-270); deel V (1994) een bijdrage van G.P.J. Verbong en E. Homburg over ‘chemische kennis en de chemische industrie’ (pp. 243-269) en van Verbong over ‘turksrood’ (pp. 271-287).

69. E. Homburg, 'De overgang naar een moderne chemische industrie', *Chemisch Magazine*, december 1989, pp. 741-743 en januari 1990, pp. 31-34. Vgl. A. Rip, 'Vastleggen geschiedenis van de chemische industrie broodnodig', *Nederlandse Chemische Industrie* 38(1996), nr.4, pp. 4-5
70. H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 55(1959)309-315 (309)
71. [H.I. Waterman], *Chemisch Weekblad* 25(1928)377-378(377). Zie ook: Waterman, *idem* 49(1953)743-746 (743)
72. H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 49(1953)743
73. E. Homburg, 'Een bedrijfstak in verandering', in: *Geschiedenis van de techniek in Nederland*, deel IV, pp. 259-270
74. G. Hondius Boldingh, 'Chemische industrie in Nederland', *Handelingen van het XVIde Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres gehouden te 's-Gravenhage op 12, 13 en 14 April 1917* (Haarlem, 1918), pp. 77-95 (78)
75. G. Hondius Boldingh, *Handelingen*, p. 86
76. G. Hondius Boldingh, *Chemisch Weekblad* 16(1919)252
77. G. Hondius Boldingh, *Chemisch Weekblad* 16(1919)242-253 (243)
78. G. Hondius Boldingh, *Chemisch Weekblad* 16(1919)253

X. De beoefening van de scheikunde in ons land gedurende en vlak na de Tweede Wereldoorlog

Gedurende de Tweede Wereldoorlog namen de verschillende chemische onderzoeksactiviteiten geleidelijk af, mede door de sluiting van de universiteiten. Dat er toch heel wat wetenschappelijk werk gedaan werd, blijkt uit het in 1947 verschenen *Chemistry in Wartime in The Netherlands. A Review of the scientific work done by Dutch chemists in the years 1940-1945. Published under the auspices of the Netherlands Chemical Society*. Het bevat tien overzichten, zonder analyse, van het verrichte wetenschappelijke onderzoek op het gebied van de fysische chemie (door H.J.C. Tendeloo), colloïdchemie (H.R. Kruyt), kristallografie en röntgenanalyse van kristallen (J.M. Bijvoet), analytische chemie (A.H.W. Aten sr.), organische chemie (P.J. Wibaut), biochemie (H.G.K. Westenbrink), farmacie (C.G. van Arkel), chemische technologie (P.M. Heertjes), wetenschap en technologie van rubber (A. van Rossem) en landbouwscheikunde (Jac. van der Spek). Het doel van de uitgave was dat chemici in de geallieerde landen snel op de hoogte zouden kunnen komen van ‘papers on chemical subjects, published by our countrymen during the years 1940-1945’ en dat het ‘may be a guide to facilitate orientation of the work done on pure and applied chemistry and the consultation of the original papers’, aldus de toenmalige voorzitter van de NCV, Tendeloo, in zijn voorwoord. Het boek verscheen pas in 1947 en heeft weinig invloed kunnen uitoefenen. Daarnaast kondigde Elsevier Publishing Company vlak na de oorlog een reeks van vierentwintig *Monographs on the Progress of Research in Holland during the War* aan, waarvan de titels van een aantal, voor ons relevante deeltjes in onderstaande tabel zijn opgenomen.

Monographs on the Progress of Research in Holland during the War

Technological and Physical Investigations on Natural and Synthetic Rubbers (A.J. Wildschut; 1946)
Contribution to the Physics of Cellulose Fibres. A study in Sorption, Density, Refractive Power and Orientation (P.H. Hermans; 1946)
Modern Development of Chemotherapy (E. Havinga, H.W. Julius, H. Veldstra en K.C. Winkler; 1946)
Recent Groundwater Investigations in the Netherlands (W.F.J.M. Krul en F.A. Liefrinck; 1946)
Chemical and Physical Investigations on Dairy Products (H. Eilers, R.N.J. Saal en M. van der Waarden; 1947)
The Wet Purification of Coal Gas and Similar Gases by the Staatsmijnen-Otto-Process (H.A.J. Pieters en D.W. van Krevelen; 1946)
Some Aspects of the Luminescence of Solids (F.A. Kröger; 1948)

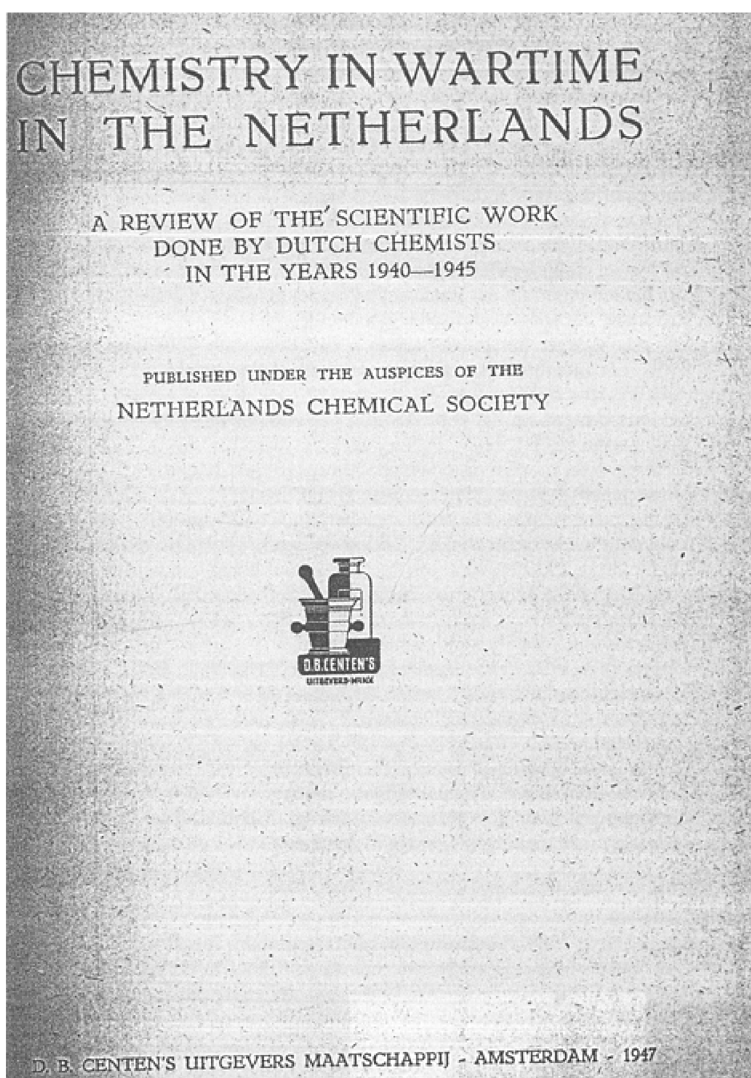
New Developments in Ferromagnetic Materials with introductory chapters on the statics and the dynamics of ferromagnetism (J.L. Snoek; 1947)
Progress in the Theory of the Physical Properties of Glasses (J.M. Stevels; 1948)

Het doel van de serie - aldus de redacteuren R. Houwink en J.A.A. Ketelaar in hun voorwoord, dat gedateerd was 'Amsterdam, on V.E. day, 8th May 1945' - was 'to show the world that scientists in the Netherlands have remained active during the five years of German occupation'. Zo bevatte P.H. Hermans' *Contribution to the Physics of Cellulose Fibres* 'the outcome of experimental investigations carried out by the author and his co-workers [D. Vermaas en J.J. Hermans], mainly during the year 1943, as a part of the research program of the "Institute for Cellulose Research" at Utrecht (Holland)'. *Modern Development of Chemotherapy* gaf een overzicht van het oorlogswerk over chemotherapie vanuit een fysisch-chemisch gezichtspunt door Veldstra en Havinga van het Research Laboratorium Combinatie N.V. en Amsterdamsche, Bandoengsche en Nederlandsche Kininefabriek en vanuit een farmacologisch-bacteriologisch standpunt door Julius en Winkler van het Hygiënisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit Utrecht. Andere deeltjes (van Kröger en van Snoek) waren 'based on experimental work carried out in the physical laboratory of the N.V. Philips Gloeilampenfabrieken Eindhoven, Netherlands, during the last five years'.

In 1942 was 'een overzicht van hetgeen in de laatste vijf jaren in Nederland verricht is op het gebied der natuurwetenschappen, der medische en der technische wetenschappen' verschenen, dat verzameld en uitgegeven was door 'de werkgemeenschap van wetenschappelijke organisaties in Nederland'. Het rapport over de beoefening van de scheikunde in ons land was opgesteld door Jan Straub (1888-1975), directeur van de Keuringsdienst van Waren te Amsterdam. Straub constateerde dat 'de huidige stand van het scheikundig onderzoek in Nederland [...] te kenschetsen [is] als een vrije samenwerking van zeer vele instellingen'.[1] De universiteitslaboratoria verrichten het zuiver wetenschappelijk werk naast hun onderwijstaak; veel overheids- en particuliere laboratoria doen het toegepast wetenschappelijk werk naast keurings- en voorlichtingswerkzaamheden. De Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek vormt een band tussen de beoefenaren van de zuivere en van de toegepaste chemie.

Straub merkte op dat het onderzoek aan de universiteiten sterk afhing van de persoonlijke voorkeur van de hoogleraar. Hij kwam tot de volgende globale indeling: 'binnen de algemeene en theoretische chemie voor molecuulbouw Leiden, Utrecht en Amsterdam; voor electrochemie Amsterdam, voor kolloidchemie Utrecht; op het gebied der anorganische chemie: voor phasenleer en mineralogische chemie Groningen en Delft, voor analytische chemie Delft; op het gebied der organische chemie: voor synthetisch werk Groningen en Leiden, voor de studie van het reactieverloop, voor natuurstoffen en voor biochemie Amsterdam, Utrecht, Delft'.[2] Hij gaf ook het navolgende overzicht van de Nederlandse universiteitslaboratoria in 1942[3]:

1 *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland* (Amsterdam, 1942), pp. 43-86 (43)
2 *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland*, p. 44
3 *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland*, pp. 46-59



CHEMISTRY IN WARTIME IN THE NETHERLANDS

A REVIEW OF THE SCIENTIFIC WORK DONE BY DUTCH CHEMISTS IN THE YEARS 1940—1945

PUBLISHED UNDER THE AUSPICES OF THE NETHERLANDS CHEMICAL SOCIETY

D.B.CENTEN'S

D. B. CENTEN'S UITGEVERS MAATSCHAPPIJ - AMSTERDAM - 1947

XXVII. Titelblad van het door de Nederlandse Chemische Vereniging in 1947 uitgegeven overzicht van de scheikundebeoefening in ons land gedurende de Tweede Wereldoorlog.

Gemeentelijke Universiteit Amsterdam

1. Laboratorium voor Algemeene en Anorganische Chemie. Opgericht in 1891. Nieuwe Prinsengracht 126. Directeur: J.A.A. Ketelaar. De onderzoekingen van de ambtsvoorganger A. Smits zijn in drie groepen te verdelen: onderzoekingen op het gebied van de fasenleer, i.h.b. in verband met Smits' theorie van de allotropie; onderzoekingen over het Raman-effect en röntgenografische onderzoekingen.
2. Laboratorium voor Organische Scheikunde. Nieuwe Achtergracht 129. Directeur: J.P. Wibaut. Onderzoekingen over pyridinederivaten. 'De physische eigenschappen van zuivere koolwaterstoffen zijn onderzocht in samenwerking met en met steun van het laboratorium der Bataafsche Petroleum Maatschappij'.
3. Laboratorium voor Analytische Scheikunde. Dit was vroeger het Laboratorium voor Toegepaste Scheikunde en sinds 1930 een afzonderlijk instituut. Nieuwe Achtergracht 125. Directeur: A.H.W. Aten sr. Onderzoekingen op het gebied van de kwantitatieve en kwalitatieve spectraalanalyse.
4. Laboratorium voor Propaedeutische Anorganische Chemie. Nieuwe Achtergracht 123. Directeur: E.H. Buchner. De algemene richting van onderzoek betreft de colloïdchemie.
5. Laboratorium voor Biochemie, Toxicologie en Levensmiddelenleer. Opgericht in 1930 en voortgekomen uit een afdeling van het Laboratorium voor Toegepaste Scheikunde. Roetersstraat 1. Directeur: J. Temminck Groll. Onderzoekingen over hydrolytische fermenten.
6. Laboratorium voor Physiologische Chemie. Opgericht in 1929. Jonas Daniël Meyerplein 3. Directeur: B.C.P. Jansen. Het wetenschappelijk werk betreft de chemie en de werking van vitamines.
7. Laboratorium voor Electrochemie. Opgericht in 1919. Hoogte Kadijk 190. Directeur: A.H.W. Aten sr. Het wetenschappelijk onderzoek betreft metingen van het geleidend vermogen van oplossingen van elektrolyten, metingen van dipoolmomenten, onderzoekingen over glaselektroden, polarografische metingen, corrosie-onderzoek, onderzoekingen over elektrolyse, enz.

Rijksuniversiteit Groningen

1. Laboratorium voor Anorganische en Physische Chemie. Opgericht in 1908. Bloemsingel 10. Directeur: F.M. Jaeger. Het wetenschappelijk onderzoek betreft drie hoofdrichtingen: fysisch-chemisch onderzoek van de eigenschappen van stoffen bij zeer hoge temperaturen (tot ca 1650 oC toe); de studie van de ruimtelijke constitutie en de optische activiteit van complexe metaalverbindingen en het onderzoek van de bouw en kristalstructuur van metalen, alliages, silicaten en koolstofverbindingen.
2. Organisch Chemisch Laboratorium. Opgericht in 1917. Bloemsingel 10. Directeur: H.J. Backer. Onderzoek over o.m. de structuurbepalingen van natuurstoffen.

Rijksuniversiteit Leiden

1. Laboratorium voor Anorganische Chemie. Hugo de Grootstraat 27. Directeur: A.E. van Arkel.
2. Laboratorium voor Organische Chemie. Opgericht in 1901. Hugo de Grootstraat 25. Directeur: J.J. Blanksma. Het wetenschappelijk onderzoek omvat de studie van de invloed van verschillende groepen in de aromatische halogeen verbindingen. De lector J. van Alphen bestudeert vooral de alifatische polyaminen en het verband tussen constitutie en kleur bij indigo en zijn derivaten. ‘Geschiedkundige onderzoekingen zijn verricht over de ontwikkeling van de chemische techniek, in het bijzonder de verfchemie, over het werk van A.P.N. Franchimont en over gebieden uit de organische chemie’.

Rijksuniversiteit Utrecht

1. Van 't Hoff-Laboratorium. Opgericht in 1904. Sterrenbosch 19. Directeur: H.R. Kruyt. De bovenverdieping bevat sinds 1916 het laboratorium van Kruyt; de benedenverdieping dat van J.M. Bijvoet, sinds 1939 de opvolger van E.J. Cohen. Op de bovenverdieping worden colloïdchemische en reologische onderzoekingen uitgevoerd; op de benedenverdieping de röntgenanalyse van kristallen.
2. Laboratorium voor Organische Chemie. Croesestraat 79. Directeur: F. Kögl. Het wetenschappelijk onderzoek betreft in hoofdzaak de werking van groeistoffen en onderzoekingen over kanker.

Technische Hogeschool Delft

1. Laboratorium voor Physische Chemie. Westvest 9. Directeur: W.G. Burgers. Onderzoekingen op het gebied van fotografie, elektrochemie en fasenleer onder leiding van W. Reinders en diens opvolger W.G. Burgers.
2. Laboratorium voor Anorganische Scheikunde. Westvest 9. Directeur: F.E.C. Scheffer.
3. Laboratorium voor Organische Chemie. Westvest 9. Directeur: P.E. Verkade. Synthese van glyceriden, phosphatidezuren, phosphatiden, e.d.; onderzoekingen over nieuwe zoetstoffen en nieuwe verbindingen voor lokale anesthesie; synthese van indolen en furanen; onderzoekingen over de vetstofwisseling.
4. Laboratorium voor Chemische Technologie. Westvest 9. Directeur: A.M.A.A. Steger, die de door de Duitse bezettingsmacht geschorste H.I. Waterman verving.
5. Laboratorium voor de Technologie van Oliën en Vetten. Opgericht in 1918. Westvest 7. Directeur: A.M.A.A. Steger.
6. Laboratorium voor Microchemie. De Vries van Heystplein 2. Directeur: H. Gravestein.

7. Laboratorium voor Analytische Scheikunde. Opgericht in 1923. De Vries van Heystplein 2. Directeur: P. Karsten. Op de afdeling van Karsten wordt het aantonen en bepalen van sporenelementen en het werk van Karstens voorganger H. ter Meulen voortgezet; op de afdeling van C.J. van Nieuwenburg wordt voornamelijk aan de ontwikkeling van microdruppelreacties gewerkt.

Landbouwhogeschool Wageningen

1. Laboratorium voor Organische Chemie. Heerenstraat 16. Tijdelijk beheerder: H.J.C. Tendeloo.
2. Laboratorium voor Physische en Kolloïd-chemie. Heerenstraat 20. Directeur: H.J.C. Tendeloo.

Merkwaardigerwijs werd het scheikundig laboratorium van de *Vrije Universiteit* (J. Coops) in het overzicht niet vermeld. Toegepast scheikundig onderzoek werd op tal van plaatsen uitgevoerd, waaronder op de verschillende instituten van de Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek met zijn in 1934 ingestelde Nijverheidsorganisatie T.N.O. en de in 1940 ingestelde Voedingsorganisatie T.N.O. Daarnaast op de verschillende rijkslandbouwproefstations en andere rijkslaboratoria, waaronder de ‘Laboratoria der Staatsmijnen in Limburg’. Voorts werden genoemd de keuringsdiensten van waren, de boter- en kaascontrolestations, de laboratoria van verenigingen (het Koloniaal Instituut, de Gasstichting, enz.) en een aantal particuliere laboratoria. Het rapport over het *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland* noemde onder de rubiek ‘geneeskunde’ het ‘Laboratorium voor Medische Chemie der Rijks-Universiteit te Leiden’ (opgericht in 1926 en onder leiding van H.G. Bungenberg de Jong), waar onderzoekingen werden verricht over de fysische chemie van hoogmoleculaire organische verbindingen (waaronder coacervatie-verschijnselen van biocolloïden) en de toepassing ervan op biologische problemen. Onder dezelfde rubriek ‘geneeskunde’ vinden we ook het ‘Laboratorium voor Anorganische en Propaedeutische Chemie der Rijks-Universiteit te Utrecht’ (opgericht in 1925; directeur Th. Strengers), waar gewerkt werd over de kwalitatieve en kwantitatieve analyse. Hoewel het laboratorium het propedeutisch chemie-onderwijs voor zowel chemici als niet-chemici (medici, farmaceuten, biologen, tandartsen en diergeneeskundigen) verzorgde, was het een onderdeel van de subfaculteit scheikunde.

De chemische onderzoekingen op het laboratorium van de Bataafsche Petroleum Maatschappij worden in het rapport over het *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland*[4] uitvoerig aan de orde gesteld. Ze worden in twee groepen onderverdeeld: onderzoekingen die verricht worden in verband met de directe belangen van de maatschappij en ‘onderzoekingen, die onder zekere voorwaarden verricht worden ten dienste van de technische en economische gemeenschap van Nederland, een groep van onderzoekingen, die eerst in Mei 1940 is geëntameerd’. De taak van het laboratorium was drieledig. De adviezen die betrekking hadden op bedrijfsmoeilijkheden waren na mei 1940 door het ontbreken van contacten met de overzeese bedrijven sterkverminderd. De onderzoekingen gingen nu vooral over de verwerking en toepassing van aardolieproducten. Dit toegepast

4 *Natuurwetenschappelijk Onderzoek in Nederland*, p. 29

natuurwetenschapplijk onderzoek bracht als consequentie met zich mee, dat het laboratorium zich meer met zuiver we-

tenschappelijk onderzoek ging bezighouden. Hierbij werd verschillende malen de hulp van de universiteiten ingeroepen, waarmee dan ook een nauw contact werd onderhouden. De activiteiten van de Nederlandse Chemische Vereniging gedurende de Tweede Wereldoorlog richtten zich sterk op het organiseren van symposia. Zo werd in Utrecht op 14 maart 1942 een 'symposium over kleven en plakken', op 24 juli een 'symposium over reproductietechniek' en op dezelfde dag een 'symposium over den invloed van de bereiding op de voedingswaarde van voedingsmiddelen' gehouden. Onder leiding van B.C.P. Jansen werden voordrachten gehouden over 'de bereiding van het huidige brood' (J. van der Lee), 'de voedingswaarde van verschillende broodsoorten' (J.H. Schuringa), 'de invloed van conserveering op de voedingswaarde van groenten en vruchten' (H.G. Derx) en 'de invloed van de bereiding in de huishouding van de spijzen' (M. van Eekelen). Een dag eerder, op 23 juli 1942, had er eveneens in Utrecht een gecombineerde vergadering plaats gevonden van de secties voor fysische chemie en voor colloïdchemie, waar vier voordrachten werden gehouden. A.H.W. Aten jr. sprak over 'gasadsorptie', E.J.W. Verwey over 'de theorie van de wisselwerking van twee electrochemische dubbellagen, in verband met de krachten tusschen de deeltjes in suspensies en lyophobe solen', H. de Bruyn over 'de viscositeit van geconcentreerde suspensies' en H.C.S. Snethlage 'over den invloed der temperatuur op de reactiesnelheid in oplossingen'. In de discussie na Verwey's voordacht merkte Kruyt op: 'Het is verheugend, dat dit fundamentele vraagstuk tot oplossing is gebracht'.[5] Het jaar erop, op 2 en 3 juli 1943, werd in Utrecht een symposium 'Structuur en eigenschappen van macromoleculaire stoffen' door de sectie voor colloïdchemie van de NCV georganiseerd. Sprekers waren Carel Koningsberger, Arnold van Rossem en Roelof Houwink van het Kunststoffeninstituut van de Rubberstichting te Delft, Jan Cornelis Derksen van het laboratorium van de Philitefabriek van Philips, Hendrik Leendert Bredée van de Hollandsche Kunstzijde Industrie te Breda, Carolina Henriëtte McGillavry van de Universiteit van Amsterdam en Petrus Hendrik Hermans van het Instituut voor Cellulose-Onderzoek te Utrecht. Op 3 en 4 juli 1944 hielden de secties voor fysische chemie en colloïdchemie in het organisch-chemisch laboratorium te Utrecht het 'tweede symposium over sterke electrolyten en over de electrische dubbellaag', een vervolg op een symposium van 2 november 1943 'speciaal voor leeraren [...] gehouden, waarvoor van die zijde de theorie der sterke electrolyten van Debije en Hückel als onderwerp was gekozen'.[6] Hoewel het aantal inschrijvingen voor het tweede symposium ruim tweehonderd bedroeg, viel 'tengevolge der oorlogsomstandigheden - invasie, beschieting van treinen - [...] het bezoek aan het symposium zelf eenigszins tegen'. Op beide dagen waren ongeveer tachtig bezoekers aanwezig. In 1943 werden niet minder dan zeven wetenschappelijke symposia over een aantal onderwerpen georganiseerd: optische analysemethoden (14 april), kringprocessen in de biochemie (5 juni), structuur en eigenschappen van macromoleculaire stoffen (2 en 3 juli), samenstelling en voedingswaarde van aardappelenen ardappelproducten (23 juli), het verband tussen chemische structuur en fysiologische werking (9 oktober), de theorie van de sterke elektrolyten (2 november) en tenslotte sporenelementen (20 november). Daarnaast werden in samenwerking met de *Vereeniging van leeraren in natuur- en scheikunde* (Velines) vakantiecursussen georganiseerd. Deze activiteiten werden in

5 *Chemisch Weekblad* 39(1942)566
6 *Tweede Symposium over Sterke electrolyten en over de electrische dubbellaag*. Gehouden te Utrecht op 3 en 4 Juli 1944 door de Secties voor Physische Chemie en voor Kolloidchemie der Nederlandsche Chemische Vereeniging [z.p.; z.j.(=1946)], p. 3. Sprekers waren H.B.G. Casimir, J.P. van der Hammen, A.H.W. Aten jr., J.J. Hermans, E.H. Wiebenga, J.Th.G. Overbeek en E.J.W. Verwey.

1944 voortgezet: Ketelaar sprak op 5 en 6 januari over de kwantummechanische behandeling van de chemische binding en Kruyt en Houwink van 8 tot en met 11 augustus over de grondslagen van de colloïdchemie en de macromoleculaire stoffen. Symposia werden in dat jaar gehouden over de technologie van de volledig synthetische kunststoffen (7 en 8 januari 1944) en de warmteproductie door verbranding (8 juni) enals laatste gedurende de oorlog het tweede symposium over sterke elektrolyten (3 en 4 juli). Het eerstvolgende symposium werd na de oorlog op 24 juli 1946 te Utrecht georganiseerd door de Nederlandse Vereniging voor Fotografie en Fotochemie (over fotografie).

Katalyse-onderzoek

De periode van isolatie van het chemisch onderzoek gedurende de Tweede Wereld-oorlog veranderde snel na 1945. Nieuwe analytische technieken kwamen de chemicus ter beschikking: de vloeistof-vloeistofchromatografie en de daaruit afgeleide papierchromatografie, de gasvloeistofchromatografie, de ultraviolette en infraroodspectroscopie en de massaspectroscopie oefenden grote invloed uit op het chemisch onderzoek. Belangrijk was het fundamentele onderzoek op het gebied van de katalyse, dat van pas na de oorlog stamt. In het voorwoord tot het in 1994 door de KNCV, ter gelegenheid van het feit dat de sectie katalyse een kwart eeuw bestond, uitgegeven *A Short History of the Dutch School of Catalysis*, stelde de samensteller, de emeritus hoogleraar in de katalyse aan de Technische Universiteit Delft, Joseph Scholten, vast: ‘Though many catalysis-related investigations had been carried out in the Low Countries before 1945, it seemed sensible to lay the emphasis on the historical description of the period shortly after the end of the second world war. This period is characterized by a rapid reinstatement of the Dutch universities and the founding of large-scale chemical industries in the country. From that time on catalysis research was relatively intensive compared to other scientific activities. One of the reasons for this was the fact that a number of international chemical industries, e.g. Shell, Akzo and DSM, set p their research laboratories predominantly in Holland’.[7]

Het systematische onderzoek van de heterogene katalyse aan de Nederlandse universiteiten begon pas in de jaren zestig van deze eeuw. Zoals te verwachten had men aan de Technische Hogeschool in Delft al veel eerder belangstelling in dit voor de chemische technologie zo belangrijke onderwerp. Daar had Jacob Böeseken vanaf zijn benoeming in 1907 grote belangstelling getoond voor reacties van het Friedel-Crafts-type.Een van zijn promovendi, Hendrik Jacobus Prins beschreef in zijn dissertatie *Bijdrage tot de kennis der katalyse. De katalytische werking van aluminiumhalogeniden* (23 oktober 1912) een nieuwe, naar hem genoemde katalytische reactie: de additie van een chloorbevattende organische verbinding aan een onverzadigde $AlCl_3$. In 1919 vond hij nog een tweede ‘Prinsreactie’: de zuur-gekatalyseerde additie van een olefine met formaldehyde leidende tot 1,3-diolsystemen.[8] Enige maanden eerder (20 juni 1912) was Johann Gerhard Wilhelm Sieger gepromoveerd op *Het aethyleeren van chloorbenzol*. Een andere

7 *A Short History of the Dutch School of Catalysis* (Den Haag, 1994), p. 13

8 H.J. Prins, ‘Over de condensatie van formaldehyd met eenige onverzadigde verbindingen’, *Chemisch Weekblad* 16(1919)1072-1074. Vgl.: W.Barendrecht, ‘De Prins-reactie. Een literatuuroverzicht’, *idem* 54(1958)404-414

promovendus van Böeseken, Simon Cornelis Johannes Olivier (*Snelheidsmetingen bij de reactie van Friedel en Crafts*; 3 fe-

bruari 1913), paste de Friedel-Crafts-reactie toe op de synthese van sulfonen (1914). Andere dissertatie-onderwerpen die Böeseken liet bewerken, gingen over *De acetyleering katalysatoren* (Emile van Thiel; 24 maart 1922) *en Studies in de chemie der peroxyden. Tevens een bijdrage tot de kennis der katalytische verchijnselen* (Arthur Ferdinand August Reynhart; 28 september 1926).

In Delft deed ook Hein Israel Waterman tal van onderzoekingen over katalytische processen voor de petroleumindustrie. In zijn afscheidscollege op 26 juni 1959 merkte hij daarover op: 'Tot de belangrijkste onderzoekingen behoorde de katalytische hoge-druk hydrogenering van vaste brandstoffen, een onderzoek, dat ons door de algemene opzet ervan veel heeft geleerd over de kraking, de hydrogenering en de isomerisatie en het bij deze reacties optredende vrije-radicaal mechanisme'.[9] Het onderzoek van Waterman was in het begin sterk gericht op het vinden van nieuwe processen, maar in de loop der jaren kwam dit steeds meer neer op het vinden van een nieuwe of verbeterde katalysator. Uiteindelijk was 'het streven van ons werk steeds primair [...] geweest het vinden van nieuwe processen en nieuwe wegen. Dit is mijns inziens de hoofdtaak van de scheikundige ingenieur; niet het reproduceren, maar het zelf scheppen'.[10]

Een geheel nieuwe periode in het katalyse-onderzoek begon in Delft na de oorlog met de benoeming van twee buitengewone hoogleraren: Jan Hendrik de Boer (1949) en wat later Dirk Willem van Krevelen, researchdirecteur van het Centraal Laboratorium van de Staatsmijnen te Geleen (1952). Zij legden in hun colleges sterk de nadruk op de katalyse. Vooral De Boer heeft grote invloed uitgeoefend. Zijn leerling, de Nijmeegse hoogleraar in de algemene en anorganische chemie (1962-1994) Johannes Steggerda (*1929) spreekt in dit verband over 'the Delft School of catalysis of J.H. de Boer (1946-1969)'.[11] Steggerda vormde met een tweetal studievrienden, 'later aangevuld met nieuwe aanwas van studenten en promovendi, het begin van de Delftse Katalyse School, minder eerbiedig ook vaak 'de jongens van De Boer' genoemd. Prof. de Boer gaf als keuzevak voor het ingenieursexamen een caput-college over adsorptie en katalyse, dat door een talrijk publiek werd bezocht. Die colleges muntten uit door helderheid en sprekende voorbeelden. Zijn boek *The dynamical Character of Adsorption* (Oxford 1953) geeft van die stijl van redeneren een goed beeld', aldus Steggerda, die in 1955 bij De Boer promoveerde.[12] De Boer had al vóór de oorlog een fundamenteel boek over heterogene katalyse en gasadsorptie geschreven, *Electron Emission and Adsorption Phenomena* (1935), waarover George Cornelis Adriaan Schuit (*1910), van 1937-1961 werkzaam in de katalytische afdelingen van het Koninklijke Shell Laboratorium in Amsterdam en daarna tot 1977 hoogleraar in de anorganische chemie en de katalyse in Eindhoven, opgemerkt heeft: 'Tevergeefs zal men in de subject-index naar het woord katalyse zoeken: dit begrip wordt er niet in genoemd. Nu, meer dan dertig jaar later [1969], zou men niettemin kunnen poneren dat dit boek het begin was van wat later wel eens de "Dutch school of Catalysis" is genoemd'.[13]

9 H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 55(1959)311
10 H.I. Waterman, *Chemisch Weekblad* 55(1959)315
11 J.J. Steggerda, in: *A Short History of the Dutch School of Catalysis*, p. 83
12 J.J. Steggerda, in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie groot hebben gemaakt* (Delft, 1993), p. 487
13 G.C.A. Schuit, 'J.H. de Boer en de heterogene katalyse', *Chemisch Weekblad* 65(1969), 27 juni, pp. 19-23 (19)



XXVIII. Jan Hendrik de Boer (1899-1971) vormde na de Tweede Wereldoorlog als buitengewoon hoogleraar in de scheikundige technologie aan de Technische Hogeschool te Delft (1946-1969) een 'Dutch School of Catalysis'.

Radiochemie

Het begin van de radiochemie in ons land is te danken aan Adriaan Hendrik Willem Aten jr. (1908-1979), die op 5 juli 1939 bij Ernst Cohen in Utrecht promoveerde op *Isotopes and the formation of milk and eggs*. Aten had na zijn studie scheikunde in Utrecht (1925-1933) aan een aantal buitenlandse universiteiten (John Hopkins University in Baltimore, Columbia University in New York en het Instituut voor theoretische natuurkunde in Kopenhagen) zich bekwaamd in het werken met isotopen. Het onderzoek dat hij onder leiding van György Hevesy in Kopenhagen had verricht, was het onderwerp van zijn promotie.

Aten kwam na zijn promotie in dienst van het Natuurkundig Laboratorium van Philips in Eindhoven. Al in het voorjaar van 1939 publiceerde hij met de fysici Cornelis Jan Bakker (1904-1960) en Frans Adriaan Heyn (*1910) over het recent door Otto Hahn en Fritz Strassmann in Berlijn ontdekte kernsplijtingsproces van uranium en thorium, waarbij als splijtingsproducten onder andere radioactief xenon en krypton werden gevonden.[14] Het drietal werkte in de Tweede Wereldoorlog aan de ontwikkeling van het synchrocyclotron, welke in 1949 in werking werd gesteld en de grondslag vormde van het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek in Amsterdam, waar Aten van 1947-1970 directeur van de chemische afdeling was. In 1950 werd hij tevens aan de Universiteit van Amsterdam benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de analytische chemie met behulp van radioactieve stoffen. Bakker werd na de oorlog hoogleraar natuurkunde en directeur van het laboratorium voor kernfysisch onderzoek aan de Technische Hogeschool te Delft (1948-1981).

Epiloog

In een beschouwing over 'research in Nederland vóór vijftig jaar en nu' uit 1953, constateerde Kruyt: 'Het zuiver wetenschappelijk onderzoek was toen en is nu bovenal geconcentreerd in de laboratoria van de Universiteiten en Hogescholen'.[15] Er is echter een groot verschil tussen de situatie in 1903 en die in 1953. Er 'ontbreken nu toch de uitzonderlijke figuren, die een halve eeuw geleden op het universitaire chemische onderzoek enorme invloed hebben uitgeoefend'. We missen figuren alsVan 't Hoff uit het einde van de negentiende en Bakhuis Roozeboom uit het begin van de twintigste eeuw. Daar staat tegenover dat het aantal docenten sterk is uitgebreid en dat het aantal studenten enorm is toegenomen. Maar de beoefening van de zuivere wetenschap buiten universiteit en hogeschool is sterk achteruit gegaan. In het begin van de eeuw werd er nog belangrijk fundamenteel onderzoek gedaan door leraren van de middelbare school en op de laboratoria van de keuringsdiensten van waren. Wat sterk is toegenomen, is het georganiseerde onderzoek op industriële researchlaboratoria.

Twintig jaar later gaf Verwey aan wat naar zijn gevoel 'de meest essentiële karaktertrekken zijn van vooruitgang in een wetenschapsgebied' en illustreerde dit aan de hand van een aantal ontwikkelingen, die hijzelf als een vooruitgang in de scheikunde had beleefd. 'Ik heb de voorsprong op de meeste chemici, dat ik mijn studie in de

14 F.A. Heyn, A.H.W. Aten, jun. en C.J. Bakker, 'Transmutation of uranium and thorium by neutrons', *Nature* 143(1939)516-517; Aten, Bakker en Heyn, 'Transmutation of thorium by neutrons', *Nature* 143(1939)679

15 H.R. Kruyt, *Chemisch Weekblad* 49(1953)578-581 (578)

chemie juist ongeveer een halve eeuw geleden begonnen ben, al is het dan zo dat ik de laatste kwart eeuw de ontwikkelingen van de chemie in allerlei verantwoordelijkheden meer als belangstellende gevolgd heb, en niet meer als actief onderzoeker'.[16] Verwey verwees naar de anorganische scheikunde die bij hem als student was overgekomen 'als een nogal dorre opsomming feiten' en waarin deze feiten later door de elektrostatische benadering van de chemische valentiekrachten aaneen werden geregen. En de organische chemie die hij als student had ervaren als vooral te bestaan uit het maken van nieuwe verbindingen en het bepalen van het smeltpunt ervan en pas later kwantummechanisch werd behandeld. 'Deze voorbeelden illustreren wat naar mijn gevoel een bijzonder essentieel aspect van wetenschappelijke vooruitgang is, namelijk de geleidelijke accentverlegging van een meer beschrijvende, inventariserende wetenschap naar een meer begrijpende, waarin althans getracht wordt meer samenhang en verband tussen de feiten te vinden. Wij kunnen dan inderdaad zeggen dat de chemie zich in de afgelopen decennia van een hoofdzakelijk empirische wetenschap heeft ontwikkeld tot een wetenschap die gemeenschappelijk geaccepteerde basis-concepties hanteert en gebruikt bij zijn verdere ontwikkeling'.

16 E.J.W. Verwey, *Chemisch Weekblad* 4 oktober 1974, pp. V1-V2

Bijlage I Het Nederlands hoger onderwijs in de scheikunde: 1900-1950

I. Universiteiten

Leiden (1575)

Hoogleraren

1874-1901	J.M. van Bemmelen (1830-1911) anorganische chemie
1874-1914	A.P.N. Franchimont (1844-1919)[1] organische chemie
1901-1934	F.A.H. Schreinemakers (1864-1945) anorganische en fysische chemie
1914-1945	J.J. Blanksma (1875-1950) organische chemie
1926-1961	H.G. Bungenberg de Jong (1893-1977) medische chemie [medische faculteit]
1934-1964	A.E. van Arkel (1893-1976) anorganische en fysische chemie
1946-1979	E. Havinga (1909-1988) organische chemie
1947-1980	C.J.F. Böttcher (*1915) d fysische chemie
1950-1974	L.J. Oosterhoff (1907-1974)[2] theoretische organische chemie

Lectoren

1897-1901	F.A.H. Schreinemakers (1864-1945) fysische chemie
1908-1940	W.P. Jorissen (1869-1959) anorganische en fysische chemie
1928-1946	J. van Alphen (1900-1969) organische chemie
1946-1957	C. Koningsberger (1907-1991) organische chemie[3]

1 Franchimont was van 1874-1877 buitengewoon hoogleraar.
2 Oosterhoff was van 1950-1967 buitengewoon hoogleraar.
3 Koningsberger was van 1957-1976 hoogleraar organische chemie Eindhoven.

Groningen (1614)

Hoogleraren

1893-1905	A.F. Holleman (1859-1953) anorganische en organische chemie
1905-1915	J.F. Eykman (1851-1915)[4] organische chemie
1909-1943	F.M. Jaeger (1877-1945) anorganische en fysische chemie
1916-1952	H.J. Backer (1882-1959) organische chemie
1946-1978	E.H. Wiebenga (*1913) anorganische chemie
1946-1953	J.J. Hermans (*1909) fysische chemie[5]
1950-1957	J.M. van der Zanden (1886-1963) toegepaste scheikunde[6]

Lectoren

1895-1902	C.H. Wind (1867-1911) mathematische fycia en fysische chemie

4 Eykman was van 1897-1905 hoogleraar in de artsenijbereidkunde en toxicologie. Van 1905-1909 doceerde hij de gehele scheikunde.
5 Hermans was van 1953-1958 hoogleraar fysische chemie in Leiden en ging daarna naar de University of North Carolina in de Verenigde Staten.
6 Van der Zanden was bijzonder hoogleraar.

1906-1908	J. Böeseken (1868-1949) propedeutische chemie
1908-1909	F.M. Jaeger (1877-1945) propedeutische chemie
1910-1911	H.R. Kruyt (1882-1959) fasenleer
1932-1950	J.M. van der Zanden (1886-1963) propedeutische chemie en vanaf 1939 ook technische chemie

Utrecht (1636)

Hoogleraren

1864-1902	E. Mulder (1832-1924)[7.] organische chemie en toxicologie
1876-1903	H.C. Dibbits (1838-1903) anorganische chemie
1902-1925	P. van Romburgh (1855-1945) organische chemie
1902-1939	E.J. Cohen (1869-1944) fysische en anorganische chemie
1908-1942	N. Schoorl (1872-1942) artsenijbereidkunde, toxicologie, analytische en microchemie en levensmiddelenleer
1916-1946	H.R. Kruyt (1882-1959)[8.] fysische chemie
1918-1944	W.E. Ringer (1874-1953) fysiologische chemie [medische faculteit]
1926-1929	L.S Ruzicka (1887-1976) organische chemie
1930-1959	F. Kögl (1897-1959) organische chemie
1939-1962	J.M. Bijvoet (1892-1980) algemene en anorganische chemie
1939-1967	L. Seekles (1897-1979), medisch-veterinaire chemie
1946-1981	J.Th.G. Overbeek (*1911) fysische chemie

1946-1964	H.G.K. Westenbrink (1901-1964) fysiologische chemie [medische faculteit]
1946-1950	J.W. le Heux (1881-1950) chemische farmacologie [medische faulteit][9.]
1948-1972	J. Smittenberg (1905-1980) propedeutische en analytische chemie

Lectoren

1907-1947	Th. Strengers (1879-1951) propedeutische en algemene chemie
1912-1916	H.R. Kruyt (1882-1959) fasenleer
1930-1946	A.L.Th. Moesveld (1892-1962) chemische analyse

Amsterdam (1876)

Hoogleraren

1896-1907	H.W. Bakhuis Roozeboom (1854-1907) fysische chemie
1896-1904	C.A. Lobry de Bruyn (1857-1904) organische en farmaceutische chemie
1901-1902	E.J. Cohen (1869-1944)10 fysische chemie
1905-1924	A.F. Holleman (1859-1953) organische chemie
1907-1940	A. Smits (1870-1948) fysische chemie
1908	N. Schoorl (1872-1942) farmaceutische en analytische scheikunde, microchemie en toxicologie11
1909-1930	G. Hondius Boldingh (1865-1936)12 toegepaste chemie
1919-1948	A.H.W. Aten sr. (1877-1950)13 elektrochemie
1925-1956	J.P. Wibaut (1886-1967) organische chemie

1928-1954	B.C.P. Jansen (1884-1962) fysiologische chemie [medische faculteit]
1939-1972	mw.C.G. van Arkel (1902-1980)14 farmaceutische chemie
1941-1978	J.A.A. Ketelaar (*1908) fysische chemie, chemische thermodynamica en chemische kristallografie15
1946-1950	E.H. Büchner (1880-1967) propedeutische, algemene en anorganische chemie16
1949-1981	W. van Tongeren (1911-1997) analytische chemie
1949-1978	A.H.W. Aten jr. (1908-1979) chemische analyse, i.h.b. radioactieve elementen17
1950-1972	mw.C.H. MacGillavry (1904-1993) chemische kristallografie

Lectoren

1904-1906	A. Smits (1870-1948) technische chemie
1907-1919	A.H.W. Aten sr. (1877-1950) elektrochemie 1902-1908 N. Schoorl (1872-1972) farmaceutische en praktische scheikunde en de microchemie
1908-1912	J.J. van Laar (1860-1938) propedeutische wiskunde voor chemici
1919-1925	J.P. Wibaut (1886-1967) organische chemie
1919-1946	E.H. Büchner (1880-1967) propedeutische, algemene en anorganische chemie
1920-1949	J. Temminck Groll (1887-1949) biochemie
1928-1936	J. Smit (1885-1957) algemene en toegepaste microbiologie
1929-1939	J.M. Bijvoet (1892-1980) kristallografie, enz.
1936-1939	mw. C.G. van Arkel (1902-1980) farmaceutische chemie

1945-1949	H.J. den Hertog (1902-1994) propedeutische organische chemie
1946-1950	mw. C.H. MacGillavry (1904-1993) chemische kristallografie
1949-1953	H. Gerding (1899-1991) analytische chemie[18.]
1949-1956	F.L.J. Sixma (1923-1963) organische chemie[19.]

Vrije Universiteit Amsterdam (1880; wis- en natuurkundige faculteit 1930)

Hoogleraren

1929-1964	J. Coops (1894-1964) organische chemie

Lectoren

1938-1951	E. van Dalen (1902-1982)[20.] analytische chemie
1946-1955	W.Th. Nauta (1913-1986) organische chemie[21.]

II. Hogescholen

Technische Hogeschool Delft (1905)

Hoogleraren scheikunde

1905-1907	S. Hoogewerff (1847-1934)[22.] anorganische en organische scheikunde en analytische scheikunde

1905-1911	L.L. Aronstein (1841-1913)[23.] algemene en fysische scheikunde
1905-1921	M.W. Beijerinck (1851-1931)[24.] algemene en toegepaste microbiologie
1905-1936	H. ter Meulen (1871-1942) analytische scheikunde en scheikunde der bouwstoffen
1905-1934	P.D.C. Kley (1871-1935)[25.] microchemie en metallografie
1906-1908	A. Smits (1870-1948) anorganische en fysische scheikunde
1907-1938	J. Böeseken (1868-1949) organische scheikunde en analytische scheikunde
1907-1948	G. van Iterson jr. (1878-1972) microscopische anatomie [aan de afdeling der scheikundige technologie]
1908-1939	W. Reinders (1874-1951) anorganische en fysische scheikunde
1917-1953	F.E.C. Scheffer (1883-1954) analytische (1917) en anorganische en fysische scheikunde (vanaf 1920)
1921-1956	A.J. Kluyver (1888-1956) algemene en toegepaste microbiologie
1920-1960	C.J. van Nieuwenburg (1889-1985) analytische scheikunde[26.]
1937-1972	P. Karsten (1904-1975) analytische scheikunde
1938-1961	P.E. Verkade (1891-1979) organische scheikunde
1940-1967	W.G. Burgers (1897-1988) fysische scheikunde
1947-1962	G. Meyer (1892-1967) algemene en anorganische scheikunde
1948-1952	A.G. van Veen (1903-1986) biochemie

Lectoren scheikunde

1918-1920	F. Goudriaan (1892-1984) anorganische chemie

1918-1944	J. van den Berg (1878-1944) analytische chemie
1920-1947	G. Meyer (1892-1967) algemene en anorganische chemie
1922-1949	H. Gravestein (1884-1975) microchemie
1948-1959	B.M. Wepster (1920-1992)[27.] theoretische organische chemie
1948-1954	mw. A.E. Korvezee (1899-1978)[28.] theoretische chemie
1949-1954	G.A.M. Diepen (1910-1995) anorganische en fysiche chemie[29.]

Hoogleraren scheikundige technologie

1912-1944	A.M.A.A. Steger (1874-1953)[30.]
1919-1959	H.I. Waterman (1889-1961)
1920-1952	G.A. Brender à Brandis (1881-1973)[31.]
1939-1958	A. van Rossem (1887-1982)[32.]
1946-1969	J.H. de Boer (1899-1971)
1946-1978	P.M. Heertjes (1907-1983)
1947-1957	J.G. Hoogland (*1903)[33.]
1947-1960	C.A. Lobry van Troostenburg de Bruyn jr. (1889-1982)[34.]

Lectoren scheikundige technologie

1939-1946	P.M. Heertjes (1907-1983)

Nederlandsche Handels-Hoogeschool Rotterdam (1913)

Hoogleraren

1919-1938	P.E. Verkade (1891-1979) warenkennis, chemie en technologie handelswaren

Lectoren

1917-1919	P.E. Verkade (1891-1979) warenkennis

Landbouwhogeschool Wageningen (1918)

Hoogleraren

1918-1928	J.H. Aberson (1857-1935) scheikunde en bemestingsleer
1918-1934	N.L. Söhngen (1878-1934) biochemie
1918-1949	S.C.J. Olivier (1879-1961) organische chemie[35.]
1929-1949	J. Hudig (1880-1967) landbouwscheikunde
1936-1956	J. Smit (1885-1957) microbiologie
1937-1962	H.J.C. Tendeloo (1896-1984) fysische en colloïdchemie[36.]
1948-1965	A.Ph. Weber (1910-1965) technologie
1949-1975	A.C. Schuffelen (1908-1975) landbouwscheikunde
1949-1972	H.J. den Hertog (1902-1994) organische chemie

Lectoren

1931-1937	H.J.C. Tendeloo (1896-1984) fysische en colloïdchemie

1946-1949	A.C. Schuffelen (1908-1975) landbouwscheikunde

R.K. Handelshoogeschool, later: Katholieke Economische Hogeschool Tilburg (1927)

Hoogleraar

1930-1935	H.C.J.H. Gelissen (1895-1982) technische scheikunde en warenkennis[37.]

Lector

1927-1930	H.C.J.H. Gelissen (1895-1982) technische scheikunde en warenkennis

Eindnoten:

7. Mulder werd in 1864 titulair extraordinarius en in 1868 extraordinarius.
8. Kruyt was van 1916-1921 buitengewoon hoogleraar.
9. Le Heux was buitengewoon hoogleraar.
18. Gerding was van 1953-1956 buitengewoon hoogleraar in de propedeutische chemie en van 1956-1970 gewoon hoogleraar in de anorganische chemie.
19. Sixma was van 1956-1960 gewoon hoogleraar in Amsterdam en van 1961-1963 buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven.
20. Van Dalen was van 1951-1968 hoogleraar.
21. Nauta werd in 1955 buitengewoon en was van 1972-1980 gewoon hoogleraar organische chemie en farmacochemie.
22. Hoogewerff was sinds 1885 hoogleraar aan de Polytechnische School.
23. Aronstein was sinds 1895 hoogleraar aan de Polytechnische School.
24. Beyerinck was vanaf 1895 hoogleraar aan de Polytechnische School.
25. Kley was van 1905-1908 buitengewoon hoogleraar.
26. Vanaf 1949 werd de leeropdracht gewijzigd in microchemie.
27. Wepster was van 1959-1985 hoogleraar.
28. A.E. Korvezee was van 1954-1961 buitengewoon hoogleraar.
29. Diepen was van 1954-1976 gewoon hoogleraar.
30. Steger was van 1918-1944 buitengewoon hoogleraar.
31. Brender à Brander was buitengewoon hoogleraar in de technologie van de brandstoffen.
32. Van Rossem was bijzonder hoogleraar in de rubbertechnologie.
33. Hoogland was van 1947-1957 buitengewoon hoogleraar in de toegepaste elektrochemie te Delft en van 1957-1973 gewoon hoogleraar in de anorganische chemie en toepassingen aan de TH Eindhoven.

34. Lobry van Troostenburg de Bruyn was buitengewoon hoogleraar kennis en onderzoek van bouwstoffen.
35. Olivier doceerde van 1918-1931 de gehele scheikunde.
36. Tendeloo was van 1937-1945 buitengewoon hoogleraar.
37. Gelissen was buitengewoon hoogleraar.

Bijlage II Chemische stambomen [met scheikundigen die in de eerste helft van de twintigste eeuw promoveerden]

J.H. van 't Hoff

1. A. VAN BIJLERT
   prom.1891; 1918-1925 hoogleraar tropische landbouwkunde Wageningen
2. E.J. COHEN
   prom. 1893; 1901 hoogleraar fysische en algemene scheikunde Amsterdam; 1902 1939 idem Utrecht
   - 2.1 *Th. Strengers*
     prom. 1907; 1907-1947 lector algemene chemie Utrecht
   - 2.2 *H.R. Kruyt*
     prom. 1908; 1910-1911 lector fasenleer Groningen; 1912 lector, 1916-1946 hoogleraar fysische chemie Utrecht
     - 2.2.1 *A.E. van Arkel*
       prom. 1920; 1934-1964 hoogleraar anorganische en fysische chemie Leiden
       - 2.2.1.1 *J.J. Hermans*
         prom. 1937; 1946-1953 hoogleraar fysische chemie Groningen; 1953-1958 fysische chemie Leiden; daarna naar University of North Carolina, USA
       - 2.2.1.2 *J.M. Stevels*
         prom. 1937; 1961-1978 hoogleraar anorganische chemie Eindhoven
       - 2.2.1.3 *G.C.A. Schuit*
         prom. 1938; 1961-1977 hoogleraar anorganische chemie en katalyse Eindhoven
       - 2.2.1.4 *A.J. Staverman*
         prom. 1938; 1958-1981 hoogleraar fysische chemie Leiden
       - 2.2.1.5 *C.J.F. Böttcher*
         prom. 1940; 1947-1980 hoogleraar fysische chemie Leiden
       - 2.2.1.6 *J.H. van Santen*
         prom. 1942; 1958-1970 hoogleraar algemene scheikunde Utrecht

2.2.2 *H.G. Bungenberg de Jong*
prom. 1921; 1926-1961 hoogleraar medische chemie Leiden
2.2.3 *H.J.C. Tendeloo*
prom. 1926; 1931 lector, 1937-1962 hoogleraar fysische en colloïdchemie Wageningen
2.2.4 *R. Hooykaas*
prom. 1933; 1946-1972 hoogleraar geschiedenis der natuurwetenschappen Vrije Universiteit; 1967-1976 hoogleraar geschiedenis der natuurwetenschappen Utrecht
2.2.5 *J.Th.G. Overbeek*
prom. 1941; 1946-1981 hoogleraar fysische chemie Utrecht
2.2.6 *A.G.M. van Melsen*
prom. 1941; 1945 lector, 1946-1977 hoogleraar natuurfilosofie Nijmegen; 1954-1966 hoogleraar natuurfilosofie Groningen

2.3 *A.L.Th. Moesveld*
prom. 1918; 1930-1946 lector chemische analyse Utrecht
2.4 *A.H.W. Aten jr.*
prom. 1939; 1949-1978 hoogleraar chemische analyse Amsterdam

3. G. HONDIUS BOLDINGH
prom. 1893; 1909-1930 hoogleraar toegepaste scheikunde Amsterdam
3.1 *J. Smit*
prom. 1913 [grotendeels bewerkt onder M.W. Beijerinck]; 1928-1936 lector microbiologie Amsterdam; 1936-1956 hoogleraar microbiologie Wageningen
3.1.1 *E.G. Mulder*
prom. 1938; 1956-1981 hoogleraar algemene microbiologie en microbiologie van bodem en water Wageningen

4. W.P. JORISSEN
prom. 1896 bij Bakhuis Roozeboom; 1908-1940 lector anorganische en fysische chemie Leiden
5. J.J. VAN LAAR
[prom. h.c. 1914 Groningen]; 1908-1912 lector mathematische chemie Amsterdam

H.W. Bakhuis Roozeboom

1. W.P. JORISSEN
prom. 1896; 1908-1940 lector anorganische en fysische chemie Leiden
1.1 *J. Booij*

prom. 1930 bij Schreinemakers; 1955-1972 hoogleraar farmacologie en neurobiochemie Vrije Universiteit

1.2 *G.C.A. Schuit*
prom. 1938 bij Van Arkel; 1961-1977 hoogleraar anorganische chemie en katalyse Eindhoven

2. A. SMITS
prom. Giessen 1896; 1904-1906 lector fysische chemie Amsterdam; 1906-1908 hoogleraar fysische chemie Delft; 1907-1940 idem Amsterdam

2.1 *F.E.C. Scheffer*
prom. 1909; 1917-1953 hoogleraar analytische en vanaf 1920 anorganische en fysische chemie Delft

2.1.1 *W.F. Brandsma*
prom. 1925; 1934-1957 hoogleraar mechanische technologie en metallurgie Delft; 1957-1962 hoogleraar mechanische technologie en metallurgie Eindhoven

2.1.2 *mw. A.E. Korvezee*
prom. 1930; 1948 lector, 1954-1961 hoogleraar theoretische chemie Delft

2.1.3 *J. Smittenberg*
prom. 1931; 1948-1972 hoogleraar analytische chemie Utrecht

2.1.4 *A.I.M. Keulemans*
prom. 1942; 1958-1976 hoogleraar instrumentele analysemethoden Eindhoven

2.1.5 *G.A.M. Diepen*
prom. 1947; 1949 lector, 1954-1976 hoogleraar anorganische en fysische chemie Delft

2.2 *F. Zernike*
prom. 1915; 1915 lector, 1920-1958 hoogleraar theoretische natuurkunde Groningen

2.3 *C.A. Lobry van Troostenburg de Bruyn jr*
prom. 1920; 1947-1960 hoogleraar kennis en onderzoek van bouwstoffen Delft

2.4 *G. Meyer*
prom. 1922; 1920 lector, 1947-1962 hoogleraar algemene en anorganische chemie Delft

2.5 *J.M. Bijvoet*
prom. 1923; 1929-1939 lector kristallografie, algemene en propedeutische beschrijvende mineralogie, thermodynamica en toepassingen op chemische vraagstukken Amsterdam; 1939-1962 hoogleraar algemene en anorganische chemie Utrecht

2.5.1 *W. Nieuwenkamp*
prom. 1932 bij L.M.R. Rutten; 1947-1968 hoogleraar mineralogie, petrografie en kristallografie Utrecht

2.5.2 *mw. C.H. MacGillavry*
prom. 1937 bij Aten sr.; 1946 lector, 1950-1972 hoogleraar chemische kristallografie Amsterdam

2.5.3 *E.H. Wiebenga*
prom. 1940; 1946-1978 hoogleraar anorganische chemie Groningen

2.5.4 *G.D. Rieck*
prom. 1945; 1959-1982 hoogleraar fysische chemie Eindhoven

2.6 *H. Gerding*
prom. 1930; 1949 lector, 1953-1970 hoogleraar anorganische scheikunde Amsterdam

2.7 *J.A.A. Ketelaar*
prom. 1933; 1940-1941 lector Leiden; 1941-1960 hoogleraar fysische en anorganische chemie Amsterdam

2.7.1 *C. Romers*
prom. 1948; 1962 lector organische chemie en vanaf 1964 röntgenen elektronendiffractie in de chemie, 1974-1982 hoogleraar röntgenanalyse Leiden

2.8 *J.L. Meijering*
prom. 1935; 1961-1980 hoogleraar fysische chemie Delft

3. E.C.J. MOHR
prom. 1897; 1927-1952 hoogleraar bodemkunde en klimatologie Utrecht

4. F.A.H. SCHREINEMAKERS
prom. 1898 h.c.; 1897 lector; 1901-1934 hoogleraar anorganische en fysische chemie Leiden

4.1 *G. Berkhoff*
prom. 1929; 1963-1967 hoogleraar algemene scheikunde Twente

4.2 *J. Booij*
prom. 1930; 1955-1972 hoogleraar farmacologie en neurobiochemie Vrije Universiteit

5. W. REINDERS
prom. 1899; 1908-1939 hoogleraar fysische chemie Delft

5.1 *F. Goudriaan*
prom. 1916; 1918-1920 lector anorganische scheikunde Delft

5.2 *C.J. van Nieuwenburg*
prom. 1914; 1920-1960 hoogleraar analytische scheikunde Delft

5.2.1 *E. van Dalen*
prom. 1933; 1930 lector, 1951-1968 hoogleraar analytische chemie Vrije Universiteit

6. W.E. RINGER
prom. 1901; 1918-1944 hoogleraar fysiologische chemie Utrecht

7. A.H.W. ATEN sr
   prom. 1904; 1907 lector, 1919-1948 hoogleraar elektrochemie Amsterdam
   - 7.1 *J. Hoekstra*
     prom. 1932; 1961-1967 hoogleraar algemene scheikunde Delft
   - 7.2 *mw. C.H. MacGillavry*
     prom. 1937; 1946 lector, 1950-1972 hoogleraar chemische kristallografie Amsterdam
     - 7.2.1 *C. Romers*
       prom. 1948 bij Ketelaar; 1962 lector organische chemie en vanaf 1964 röntgen- en elektronendiffractie in de chemie, 1974-1982 hoogleraar röntgenanalyse Leiden

8. E.H. BÜCHNER
   prom. 1905; 1919 lector, 1946-1950 hoogleraar fysische chemie Amsterdam
9. H.R. KRUYT
   prom. 1908 bij Cohen; 1910-1911 lector fasenleer Groningen; 1912 lector, 1916-1946 hoogleraar fysische chemie Utrecht
10. F.E.C. SCHEFFER
    prom. 1909 bij Smits; 1917-1953 hoogleraar analytische en vanaf 1920 anorganische en fysische chemie Delft

A.P.N. Franchimont

1. P.Van ROMBURGH
   prom. 1881; 1902-1925 hoogleraar organische chemie Utrecht
   - 1.1 *B.C.P. Jansen*
     prom. 1912; 1928-1954 hoogleraar fysiologische chemie Amsterdam
     - 1.1.1 *D.A. van Dorp*
       prom. 1941; 1967 hoogleraar biochemie University College Cardiff
     - 1.1.2 *mw. E.P. Steyn Parvé*
       prom. 1945; 1960 lector, 1962-1981 hoogleraar fysiologische chemie Utrecht
     - 1.1.3 *H.K. Oosterhuis*
       prom. 1946; 1951 lector, 1957-1980 hoogleraar biochemie Vrije Universiteit
   - 1.2 *J.W. le Heux*
     prom. 1914; 1946-1950 hoogleraar chemische farmacologie Utrecht

2. C.A. LOBRY DE BRUYN
   prom. 1883; 1896-1904 hoogleraar organische chemie Amsterdam

2.1 *J.J. Blanksma*
prom. 1900; 1914-1945 hoogleraar organische chemie Leiden

2.1.1 *L. Seekles*
prom. 1922; 1939-1967 hoogleraar medisch-veterinaire chemie Utrecht

2.1.2 *J. van Alphen*
prom. 1924; 1928-1946 lector organische chemie Leiden

2.2 *N. Schoorl*
prom. 1901; 1902 lector, 1908 hoogleraar farmaceutische en analytische chemie Amsterdam; 1908-1942 hoogleraar analytische chemie en microchemie Utrecht

2.2.1 *I.M. Kolthoff*
prom. 1918; 1927-1962 hoogleraar analytische chemie Minnesota (V.S.)

2.2.2 *J.F. Reith*
prom. 1929; 1946-1971 hoogleraar toegepaste analyse, toxicologie en chemische levensmiddelenleer Utrecht

2.2.3 *H.A. Boekenoogen*
prom. 1930; 1962-1971 hoogleraar chemische technologie Eindhoven

2.2.4 *A.C. Schuffelen*
prom. 1940; 1946 lector, 1949-1975 hoogleraar landbouwscheikunde en bemestingsleer Wageningen

2.2.5 *F.H.L. van Os*
prom. 1942 [door overlijden Schoorl bij J.M. Bijvoet en W.C. de Graaff]; 1943 lector, 1945-1975 hoogleraar farmacie Groningen

2.3 *A.M.A.A. Steger*
prom. 1898; 1912-1944 hoogleraar scheikundige technologie Delft

3. A.F. Holleman
prom. 1887; 1893-1905 hoogleraar anorganische en organische chemie Groningen; 1905-1924 hoogleraar organische chemie Amsterdam

3.1 *J. Böeseken*
prom. 1897; 1906-1907 lector propedeutische chemie Groningen; 1907-1939 hoogleraar organische chemie Delft

3.1.1 *S.C.J. Olivier*
prom. 1913; 1918-1949 hoogleraar organische chemie Wageningen

3.1.1.1 *A.Ph. Weber*
prom. 1934; 1948-1965 hoogleraar technologie Wageningen

3.1.2 *H.I. Waterman*
prom. 1913; 1919-1959 hoogleraar scheikundige technologie Delft

3.1.2.1 *J.W.H. Uytenbogaart jr.*

prom. 1929; 1941-1964 hoogleraar
mechanische technologie Delft

3.1.2.2 *J.N.J. Perquin*
prom. 1929; 1956-1963 hoogleraar chemische technologie Eindhoven

3.1.2.3 *J.C. Vlugter*
prom. 1932; 1959-1963 hoogleraar Delft; 1963-1971 hoogleraar scheikundige technologie Twente

3.1.2.4 *P.M. Heertjes*
prom. 1938; 1939 lector, 1946-1978 hoogleraar scheikundige technologie Delft

3.1.2.5 *D.W. van Krevelen*
prom. 1939; 1952-1980 hoogleraar scheikundige technologie Delft

3.1.2.6 *E.A.M.F. Dahmen*
prom. 1946; 1966-1979 hoogleraar chemische analyse Twente

3.1.3 *P.E. Verkade*
prom. 1915; 1917 lector, 1918-1938 hoogleraar warenkennis Nederlandsche Handels-Hoogeschool Rotterdam; 1938-1961 hoogleraar organische chemie Delft

3.1.3.1 *B.M. Wepster*
prom. 1947; 1948 lector, 1959-1985 hoogleraar theoretische organische chemie Delft

3.1.4 *J. Coops jr.*
prom. 1924; 1929-1964 hoogleraar organische chemie Vrije Universiteit

3.1.4.1 *W.Th. Nauta*
prom. 1941; 1946 lector, 1955-1980 hoogleraar organische chemie en farmacochemie Vrije Universiteit

3.1.5 *H.C.J.H. Gelissen*
prom. 1925; 1927 lector, 1930-1935 hoogleraar technische scheikunde en warenkennis Katholieke Economische Hogeschool Tilburg

3.1.6 *E.J.J.M. de Roy van Zuydewijn*
prom. 1936; 1963 lector scheikundige technologie Eindhoven[38.]

3.2 *J.P. Wibaut*
prom. 1912; 1919 lector, 1925-1956 hoogleraar organische chemie Amsterdam

3.2.1 *H.J. den Hertog*
prom. 1931; 1945-1949 lector Amsterdam; 1949-1972 hoogleraar organische chemie Wageningen

3.2.2 *J.Th. Hackmann*

prom. 1940; 1964-1972 hoogleraar organische scheikunde Twente

3.2.3 *J.F. Arens*
prom. 1941; 1953-1960 hoogleraar organische chemie Groningen; 1960-1980 hoogleraar organische scheikunde Utrecht

3.2.4 *E.C. Kooyman*
prom. 1946; 1958-1971 hoogleraar organische scheikunde Leiden

3.2.5 *F.L.J. Sixma*
prom. 1948; 1949 lector; 1956-1960 hoogleraar organische scheikunde Amsterdam; 1961-1963 hoogleraar fysisch-organische chemie Eindhoven

4. F.M. JAEGER
prom. 1903; 1908-1909 lector propedeutische chemie, 1909-1943 hoogleraar anorganische en fysische chemie Groningen

4.1 *H.G.K. Westenbrink*
prom. 1926; 1946-1964 hoogleraar fysiologische chemie Utrecht

5. H.J. BACKER
prom. 1911; 1916-1952 hoogleraar organische chemie Groningen

5.1 *J.H. de Boer*
prom. 1923; 1946-1969 hoogleraar scheikundige technologie Delft

5.2 *J.M. van der Zanden*
prom. 1926; 1932 lector, 1950-1957 hoogleraar technische chemie Groningen

5.3 *W.G. Burgers*
prom. 1928; 1940-1967 hoogleraar fysische chemie Delft

5.4 *H. Mulder*
prom. 1933; 1949-1975 hoogleraar zuivelbereiding en melkkunde Wageningen

5.5 *J. Strating*
prom. 1934; 1957 lector, 1962-1970 hoogleraar organische chemie Groningen

5.6 *W. Stevens*
prom. 1940; 1957-1970 lector organische chemie Leiden

5.7 *W.G. Perdok*
prom. 1942; 1955 lector mineralogie en kristallografie Groningen [vanaf 1960 tevens bijzonder hoogleraar], 1962-1979 hoogleraar kristalkunde en mineralogie Groningen

L.S. Ruzicka

1. A.G. VAN VEEN
prom. 1928; 1948-1952 hoogleraar biochemie Delft
2. A.J. HAAGEN SMIT
prom. 1929; 1936 lector organische chemie Harvard University Cambridge; 1937 hoogleraar biochemie California Institute of Technology, Pasadena, California

3. H.A. BOEKENOOGEN
   prom. 1930 bij Schoorl; 1962-1971 hoogleraar chemische technologie Eindhoven
4. H.C. BEYERMAN
   prom. 1945 bij L. Ruzicka en V. Prelog aan de ETH in Zürich; 1954 lector, 1965-1984 hoogleraar organische chemie Delft

F. Kögl

1. H. VELDSTRA
   prom. 1935; 1953-1972 hoogleraar biochemie Leiden
2. C. KONINGSBERGER
   prom. 1936; 1946-1957 lector organische chemie Leiden; 1957-1976 hoogleraar organische chemie Eindhoven
3. E. HAVINGA
   prom. 1939; 1946-1979 hoogleraar organische chemie Leiden
4. G.J.M. VAN DER KERK
   prom. 1942; 1957-1983 hoogleraar organische chemie Utrecht
5. J. BOLDINGH
   prom. 1942; 1966-1979 hoogleraar organische chemie Utrecht
6. C.A. SALEMINK
   prom. 1949; 1958 lector, 1968-1984 hoogleraar organische chemie natuurstoffen Utrecht

Eindnoten:

38. De Roy van Zuydewijn werd op 1 mei 1963 benoemd, maar overleed reeds op 20 mei 1963.

Bijlage III Het dagelijks bestuur van de Nederlandse Chemische Vereniging: 1903-1950

Voorzitters

1903-1904	dr. E. Cohen (1869-1944), hoogleraar fysische scheikunde Universiteit Utrecht
1905-1907	dr. L. Aronstein (1841-1913), hoogleraar algemene en fysische scheikunde Technische Hogeschool Delft
1908-1909	dr. A.F. Holleman (1859-1953), hoogleraar organische scheikunde Universiteit Amsterdam
1910-1912	dr. S. Hoogewerff (1847-1934), hoogleraar scheikunde Technische Hogeschool Delft
1913-1915	dr. E. Cohen [zie boven]
1916	dr. A. Lam (1860-1918), directeur-scheikundige Gemeentelijke Keuringsdienst voor Voedingsmiddelen te Rotterdam
1917	dr. W. Reinders (1874-1951), hoogleraar anorganische en fysische scheikunde Technische Hogeschool Delft
1918-1920	dr. H.R. Kruyt (1882-1959), hoogleraar fysische chemie Universiteit Utrecht
1921-1923	dr. G.L. Voerman (1879-1950), directeur Rijksbureau voor het onderzoek van handelswaren, gevestigd in Leiden en vanaf begin 1923 in Den Haag
1924-1926	dr. ir. C.J. van Nieuwenburg (1889-1985), hoogleraar analytische chemie Technische Hogeschool Delft
1927-1929	dr. S.C.J. Olivier (1879-1961), hoogleraar organische chemie Landbouwhogeschool Wageningen
1930-1932	dr. ir. P.E. Verkade (1891-1979), hoogleraar warenkennis, chemie en technologie der handelswaren Nederlandsche Handels-Hogeschool Rotterdam[39.]
1933-1935	dr. J. Smit (1885-1957), lector microbiologie Universiteit Amsterdam[40.]

1936-1938	dr. C.A. Lobry van Troostenburg de Bruyn (1889-1982)[41.], directeur Chemisch-Technisch Laboratorium Dr Lobry de Bruyn
1939-1945	mr. drs. J. Alingh Prins (1875-1963), voorzitter Octrooiraad
1946	dr. H.J.C. Tendeloo (1896-1984), hoogleraar fysische chemie en colloïdchemie Landbouwhogeschool Wageningen
1947-1949	dr. ir. J. Coops (1894-1969), hoogleraar organische chemie Vrije Universiteit Amsterdam
1950-1952	dr. H.J.C. Tendeloo [zie boven]

Secretarissen

1903-1904	ir. J. Rutten (1873-1946), scheikundige aan de gasfabrieken te 's Gravenhage
1905-1907	dr. D.J. Hissink (1874-1956), directeur Rijkslandbouwproefstation te Goes
1908-1910	ir. H. Baucke (1871-1952), chemicus en firmant Proefstation voor bouwmaterialen en bureau voor chemisch onderzoek Koning & Bienfait te Amsterdam
1911-1912	ir. J. Rutten [zie boven]
1913-1916	dr. P.A. Meerburg (1874-1940), hoofd chemisch-farmaceutische afdeling Centraal Laboratorium voor de Volksgezondheid te Utrecht
1917-1921	dr. P.J. Montagne (1867-1925), conservator organisch-chemisch laboratorium universiteit Leiden
1922-1924	ir. B. Wigersma (1877-1962), scheikundig ingenieur te Haarlem
1925-1931	dr. A.D. Donk (1879-1931), leraar scheikunde hbs Haarlem
1931-1936	dr. G.J. van Meurs (1887-1965), directeur Keuringsdienst van Waren van het gebied Dordrecht
1937-1954	dr. T. van der Linden (1888-1965)

Penningmeesters

1903-1906	mw. A. Grutterink (1869-1927), apotheker Coolsingelziekenhuis te Rotterdam
1907-1908	dr. D.P. Hoyer (1871-1926), directeur van de Brouwerij d'Oranjeboom te Rotterdam
1909-1915	dr. G. Hondius Boldingh (1865-1936), buitengewoon hoogleraar farmaceutische en analytische scheikunde, microchemie en microbiologie (vanaf 1912 toegepaste chemie) Universiteit Amsterdam
1916-1921	dr. H.C. Bijl (1877-1951), leraar scheikunde hbs Amsterdam

1922-1924	dr. ir. A. van Rossen (1887-1982), directeur Rubberinstituut Delft[42.]
1925-1931	dr. A.D. Donk [zie boven]
1931-1946	dr. G.J. van Meurs [zie boven]
1946-1955	dr. W. Meyer (1900-1974), directeur Keuringsdienst van Waren te Den Haag

Eindnoten:

39. 1938-1961 hoogleraar organische scheikunde Technische Hogeschool Delft.
40. 1936-1956 hoogleraar microbiologie Landbouwhogeschool Wageningen.
41. 1947-1960 buitengewoon hoogleraar kennis en onderzoek van bouwstoffen Technische Hogeschool Delft.
42. 1939-1958 bijzonder hoogleraar rubbertechnologie Technische Hogeschool Delft.

Index van personen